DIE
ANATOMIE EINIGER GRAMINEENWURZELN
DES
WÜRZBURGER WELLENKALKS.

INAUGURAL-DISSERTATION

VERFASST UND DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

KGL. BAYER. JULIUS-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT WÜRZBURG

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

VORGELEGT

AM 12. FEBRUAR 1906

VON

FRANZ CONTZEN
AUS DINSLAKEN.

ACAD.

WÜRZBURG.
A. STUBER's VERLAG (CURT KABITZSCH).
1906.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41507204_0005

MEINEM LIEBEN VATER.

Die Anatomie einiger Gramineenwurzeln des Würzburger Wellenkalks.

Von
Franz Contzen.

Die Würzburger Flora, speziell das Florengebiet nördlich von Würzburg auf den Muschel- und Wellenkalkhügeln, bildete den Gegenstand häufiger Untersuchungen, die von Professor *Kraus* [1]) und seinen Schülern ausgeführt wurden. Die Arbeiten erstreckten sich bis jetzt hauptsächlich auf oberirdische Organe. In allen Befunden zeigte sich der xerophytische Charakter der Flora und die Anpassung der einzelnen Pflanzen an die xerophytische Lebensweise. Die unterirdischen Organe zeigen ein nicht minder interessantes Leben und eine gleiche Anpassungsfähigkeit. Daher sollten einmal sie, speziell die Wurzeln der Gramineen, einer eingehenden Untersuchung unterzogen, ihr anatomischer und histologischer Bau beschrieben werden.

Nun hat Professor *Kraus* darauf aufmerksam gemacht [2]), dass die Wurzeln derselben Gräser einen verschiedenen anatomischen Bau zeigen, wenn sie nur an verschiedenen Stellen des Wellenkalks ge-

1) *G. Kraus*, Aus der Pflanzenwelt Unterfrankens: I. Johann Michael Fehr und die Grettstadter Wiesen. II. *Bott*, Über den Bau der Schlehkrüppel. III. *Lippold*, Anpassung der Zwergpflanzen des Würzburger Wellenkalkes nach Blattgrösse und Spaltöffnungen. IV. *Kanngiesser*, Über Alter und Dickenwachstum von Würzburger Wellenkalkpflanzen. V. *Kraus*, Anemometrisches vom Krainberg bei Gambach. Schlussworte zu *Fehrs* Tempe. VI. *Kraus*, Über den Nanismus unserer Wellenkalkpflanzen. VII. Vicia Orobus und ihre Heterotrichie. VIII. *Kraus*, Die Sesleria-Halde.

2) *Kraus*, Über spezifische Wurzelstrukturen. Sitzungsberichte der phys.-med. Gesellschaft zu Würzburg. 5. Februar 1903.

wachsen sind, einen verschiedenen Bau, der vor allem in dem Verhalten der Rinde, der Ausbildung des Festigungsgewebes, der Weite der Gefässe zum Vorschein kommt. All dies sollte ich einer näheren Prüfung unterziehen. Daher war zunächst eine grössere Anzahl Gramineen von den verschiedensten Standorten zu sammeln.

Die Gräser des Würzburger Wellenkalks sind alle perennierend und bedecken nicht in geschlossener Narbe den Boden, sondern treten büschelartig bald hier, bald dort ein kleines Rasenpolster bildend, auf. Die Spezies, die als Bürger der hiesigen Flora, als mit charakteristischen Merkmalen begabt, in diese Untersuchung gezogen wurden, sind folgende:

Sesleria coerulea, Melica ciliata, Koeleria cristata, Brachypodium pinnatum, Stipa pennata und capillata, Festuca ovina, Phleum Böhmeri als Vertreter der Wellenkalkflora; Aira flexuosa, Andropogon Ischaemum auf Sandboden, Molinia coerulea auf Buntsandstein gewachsen.

Mit dem anatomischen Bau der Gramineenwurzeln hat sich *Klinge* in seinen vergleichenden Untersuchungen[1]) eingehend befasst, so dass es eigentlich überflüssig erscheinen könnte, noch einmal das gleiche Thema zu behandeln. Doch berücksichtigen die Klingeschen Untersuchungen nicht die Beziehungen der einzelnen Spezies zum Standort; meistens sind sie wohl an je einem Exemplar ausgeführt, die dabei gefundenen Resultate verallgemeinert, doch zeigt uns jede Wurzel, ich möchte sagen, ein mehr oder weniger individualisiertes Leben, bedingt zum Teil durch die ganzen äusseren Verhältnisse und augenfällig sichtbar an dem ganzen anatomischen Bau. Denn die Pflanzen sind lebende Organismen, die nicht wie z. B. die Kristalle in stets gleichen Formen erscheinen, sondern kraft eines ihnen innewohnenden Bildungstriebes nach eigenen Gesetzen sich entfalten und gestalten. Die Unterschiede allerdings sind natürlich nicht gross, doch immerhin vorhanden.

Sämtliche untersuchten Gramineenwurzeln sind äusserlich von einer gallertartigen Schleimschicht eingehüllt. Dieselbe nimmt manchmal bedeutende Dimensionen an, so dass sie makroskopisch wahrnehmbar wird und nicht bloss andeutungsweise durch die anhaftenden Erdpartikelchen. Wäscht man nämlich die frisch gegrabenen Würzelchen nicht ab, sondern bringt sie, nachdem man sie oberflächlich

[1]) *J. Klinge,* Vergleichend histologische Untersuchung der Gramineen und Cyperaceenwurzeln, insbesondere der Leitbündel: Mémoires de l'Académie Impériale des Sciences de St. Petersbourg. VII Série. Tome XXVI. Nr. 12.

durch Schütteln gereinigt hat, gleich in Alkohol, so bleibt die Gallertmasse vollkommen erhalten. Bei Sesleria, Koeleria, Melica, Brachypodium erreichte die Schleimmasse etwa die Dicke der ganzen Rindenschicht, bei keiner fehlte sie ganz, bald ist sie mehr, bald weniger vorhanden. Der Schleim erscheint in Alkohol gallertartig, gelblich braun, beim Liegen in Wasser verquillt er. Legt man einen Schnitt von einer der genannten Gramineen in einen Tropfen Wasser, in dem fein verriebene Tusche sich befindet, so treten die Schleimmassen von der Tusche scharf abgehoben als helle Flecke deutlich hervor. Schnitte, die nach der A. Meyerschen Methode, angegeben in der „Wissenschaftlichen Droguenkunde", zuerst mit 25% Kupfersulfatlösung $^1/_2$ Stunde behandelt, dann ausgewaschen und mit 50% Kalilauge betupft waren, zeigten den Schleim nicht deutlich blau gefärbt, sondern hatten bloss einen bläulichen Schimmer.

Mit Methylenblaulösung färbt sich der Schleim nach Härtung mit Bleiacetat oder Alaun schwach blau, mit Ruthenium rot, mit Korallinsoda nach längerer Einwirkung rosa. Will man aus der Färbung mit diesen Stoffen einen Schluss auf die chemische Natur des Schleimes ziehen, so ist er nicht einheitlich, sondern nach der Mangin'schen Einteilung[1]) aus Pektin- und Kalloseschleim zusammengesetzt. Irgend eine Struktur oder Schichtung ist in dem Schleim nicht wahrnehmbar. Die Schleimmassen entstehen durch Verschleimung der äusseren Membran; ob aber dieser Vorgang allein imstande ist, die beträchtliche Menge Schleim zu liefern, oder ob das Protoplasma bei der Bildung desselben beteiligt ist, indem es schleimbildende Stoffe an die äussere Tangentialwand ähnlich wie membran-verdickende Substanzen befördert, so dass hier Schleimbildung statt Membranverdickung eintritt, ist noch eine ungelöste Frage.

Schleim bekleidet nicht nur die Epidermis, sondern auch die Verwölbungen der Epidermis: die Wurzelhaare. Zwar sind die Schichten, die hier gebildet sind, bei weitem nicht so stark wie bei Epidermis selber; doch geben sie alle oben angeführten Reaktionen. Wie *Frank Schwarz*[2]) S. 142 nachgewiesen hat, entstehen sie aus der äussersten Lamelle des Wurzelhaares. Durch seine leichte Quellbarkeit, eine Eigenschaft, auf die *Frank Schwarz* S. 143 aufmerksam macht, ist der Schleim imstande, kleine Körnchen und Erdpartikelchen

1) Mangin in Bull. Soc. Bot. de France. T. XLI, 1894, p. XL 559.

2) *Frank Schwarz*, Die Wurzelhaare der Pflanzen. Untersuchungen des bot. Instituts Tübingen. Bd. 1. 1881—85.

zu umfliessen und so in innigen Kontakt mit den Haaren resp. den absorbierenden Epidermiszellen zu bringen, die ihrererseits die vorhandenen Nährstoffe aus denselben aussaugen. Doch diese Funktion des Schleimes erklärt nicht sein massenhaftes Auftreten in alten Wurzeln. Hier steht er nicht mehr im Dienste der Ernährung, sondern er dient als Schutzmittel gegen Austrocknung.

Ein Vergleich, den man mit gelöster und erstarrter Gelatine anstellt, macht die schützende Tätigkeit deutlich. Denn wie hier an der Oberfläche beim Stehen an der Luft die oberste Lage ihr Wasser abgibt, infolgedessen brüchig und rissig erscheint und durch Bildung einer trockenen Kruste weiteres Verdunsten von Feuchtigkeit aus untern Regionen verhindert, ebenso geschieht es bei diesen Schleimmassen, die die unter ihnen liegenden Gewebeschichten vor jeglicher Austrocknung schützen.

Sämtliche Wurzeln der untersuchten Gramineen werden von einer Wurzelhaube bedeckt; diese ist bei den untersuchten Exemplaren relativ klein, durchschnittlich 1 mm gross. Das Gewebe derselben ist zart und die einzelnen Zellen derselben sind in Sichelform angeordnet, genau wie es die bekannten Abbildungen im Strassburgerschen Praktikum S. 323 für Triticum zeigen.

De Bary[1]) hat für Triticum, Zea, Hordeum den Ursprung der Epidermis und der Rindenzellen aus einer Initiale nachgewiesen; verfolgt man auf medianen Längsschnitten durch die Wurzelspitze bei unsern untersuchten Gramineen den Verlauf der Epidermiszellen bis zu ihrer Mutterzelle, so erhält man die gleichen Bilder wie die von *de Bary* für Zea gegebene. Deutlich sieht man, dass Epidermis und Rinde aus einer Initiale ihren Ursprung nehmen, dass hinter dem Scheitel diese sich durch eine Tangentialwand in zwei Zellen differenziert; aus der einen geht die Rinde, aus der andern die Epidermis hervor. In einem sehr frühen Stadium, wenn noch Zellen der Wurzelhaube die Epidermis bedecken, haben die Epidermiszellen schon ihre fertige Form und Gestalt angenommen. Auf dem Querschnitt erscheinen sie in lückenlosem Verbande, gewöhnlich pentagonal, selten tetragonal mit vorgewölbter Aussenwand und gebrochener gleichsam zu einer Spitze ausgezogenen innern Tangentialwand. Die Radialwände stehen meistens in genau radialer Richtung der Wurzel; manchmal so bei Stipa capillata, Melica ciliata sind sie aus dieser Lage etwas verschoben; die Querschnittsform der Epidermiszellen er-

[1]) *De Bary*, Vergleichende Anatomie S. 11.

scheint hier rhombusähnlich, wobei die breitere Seite des Rhombus bald nach aussen bald nach innen gerichtet ist. Auffallend war die Form der Epidermiszellen bei einigen Seslerien; dieselben erschienen trichterförmig mit breiter, vorgewölbter Aussenwand, spitz zulaufender Radial- und sehr kleiner innerer Tangentialwand. Die Grössenverhältnisse sind bei den Spezies wechselnd. Die meisten haben ihre Zellen in radialer Richtung gestreckt; bei Brachypodium erscheinen sie isodiametrisch oder sogar in tangentialer Richtung gestreckt. In Zahlen ausgedrückt, erhalten wir für die Grössenverhältnisse der Epidermis folgende Werte:

Andropogon Ischaemum L. radialer Durchmesser 17, tangentialer Durchmesser 14 μ.

Stipa capillata } rad. 21 μ tang. Durchm. 12—15 μ.
Stipa pennata }

Phleum Böhmeri rad. Durchm. 35 μ tang. Durchmesser 17 μ.

Aira flexuosa L. rad. Durchm. 28 μ tang. Durchmesser = 18 μ.

Sesleria coerulea rad. 38,5—52 μ tg. 22,2 μ.

Koeleria cristata Pers. rad. 27 μ tg. 21,4 μ.

Melica ciliata L. rad. 17,5 μ tg. 14 μ.

Festuca ovina rad. 24,5 μ tg. 15—18 μ.

Brachypodium pinnatum P. B. rad. 14,5 tg. 16,5 μ.

Bemerken möchte ich, dass die angegebenen Zahlen die Mittelwerte von je sechs Messungen sind, die an Pflanzen von den verschiedensten Standorten ausgeführt wurden. Die Messungen selber sind vorgenommen mit einem Zeissschen Messtrommelokular: Kompensationsokular VI und den Objektiven D D und F; die Vergrösserung dieser Kombination beträgt für die D D-linse $^1/_{330}$, für die F-linse $^1/_{780}$. Bei Dickenmessungen von Wänden, bei denen die Wandstärke gering war, wurde das Zeisssche Okularschraubenmikrometer verwendet, bei dem ein Trommelintervall einem Werte von 0,13 μ bei der „F"linse entspricht. Wechselnd wie die Grössenverhältnisse auf dem Querschnitt, erscheinen dieselben auch auf dem Längsschnitt. Bald sind die Zellen sehr kurz, so dass sie etwa bloss doppelt so lang als breit sind, so bei Stipa pennata, capillata; meistens übertrifft der Längsdurchmesser den Querdurchmesser um ein vielfaches. Die Grössenverhältnisse auf dem Längsschnitte gestalten sich in Zahlen folgendermassen: Andropogon Isch. 105 μ. Stipa cap. et pen. 35 μ. Aira flexuosa 102,5. Sesleria coer. 168 μ. Koeleria cristata 120 μ. Melica 105 μ. Festuca ovina 78,5 μ. Brachypodium 35—40 μ.

Die Querwände der einzelnen Epidermiszellen sind auf dem

Längsschnitt bei Triebwurzeln gerade oder höchstens wenig schräg gestellt, bei ältern soweit die Epidermiszellen überhaupt vorhanden sind, mehr oder weniger schräg.

Bekanntlich ist die Hauptfunktion der lebenskräftigen und funktionsfähigen Epidermis, als Wasser und Salz absorbierendes Organ zu dienen. Um diese Aufgabe leichter erfüllen zu können, tritt Oberflächenvergrösserung durch die Wurzelhaare ein.

Viele Epidermiszellen wachsen in der Tat zu Wurzelhaaren aus. Wieviel von diesen gebildet werden, das hängt nach den Untersuchungen von *Frank Schwarz* [1]) hauptsächlich von der vorhandenen Feuchtigkeit und einer hinreichenden Zufuhr von Luft ab. Bedenkt man, dass die Triebwurzeln im Herbste und im ersten Frühling, die Saugwurzeln im ersten Frühling ihre grösste Anzahl von Wurzelhaaren bilden, zu einer Zeit also, wo Niederschläge in unsern Breiten häufig sind, und überlegt man ferner, dass unsre Gramineen Flachwurzler sind und auf steinigem Boden wachsen, wo die Luft durch die zahlreichen Ritzen reichlichen Zutritt hat, so finden wir damit die optimalen Bedingungen für die Entstehung und Ausbildung der Wurzelhaare geschaffen. In der Tat beweisen dies die gefundenen Zahlen.

Name der Pflanze	Wurzeldurchmesser mm	Anzahl der Haare auf 1 mm des Wurzelumfanges	Anzahl der Haare auf 1 qmm der Oberfläche
Andropogon	0,9	725	260
Stipa pen.	1,1	812	235
Phleum Bohmeri	0,740	492	211
Aira flexuosa	0,52	520	327
Sesleria coer.	—	—	—
Koeleria crist.	0,87	1010	370
Melica ciliata	0,61	390	206
Festuca ovina	0,595	613	322
Brachypod. pin.	0,74	732	329

Die Zahlen gelten für die Triebwurzeln der Gramineen und sind Mittelwerte von drei Zählungen, die auf Querschnitten in einer Entfernung von 0,5—1,5 cm von der Wurzelspitze gemacht sind. Für

[1]) *Frank Schwarz*, Die Wurzelhaare der Pflanzen. S. 149, 150.

die Nebenwurzeln ergeben sich ähnliche Werte, auch hier bedecken die Haare gleich wie ein Filz die Würzelchen.

Wie aus der Tabelle ersichtlich, bildet Sesleria überhaupt keine oder sehr spärlich Wurzelhaare, nur bei dem Exemplar, das im hiesigen botanischen Garten gewachsen war, sah ich dieselben, wenn auch wenige. Für die mangelnden Wurzelhaare haben sich die Epidermiszellen papillös vorgewölbt und erreichen eine Grösse von 52 μ in radialer Richtung; bei dem Gartenexemplar betrug dieselbe nur ca. 30 μ.

Das einzelne Wurzelhaar entsteht durch Hervorwölbung der äussern Tangentialwand der Wurzelepidermis; meistens stülpt sich ein kleiner, scharf umgrenzter, der Wurzelspitze zugekehrter Teil der äussern Tangentialwand vor, manchmal aber so bei Andropogon Isch. tut es die ganze Wand, und später erst wächst ein kleiner bestimmter Teil zum Haare aus, so dass das Wurzelhaar gleichsam auf einem Sockel sich erhebt. Die Zellen der Wurzelepidermis, aus denen Haare hervorwachsen, erscheinen durchgängig kleiner als die übrigen auf dem Querschnitte in tangentialer, auf dem Längsschnitt in der Höhenrichtung. Um nur ein paar Beispiele anzuführen, so beträgt bei Koeleria cristata auf dem Querschnitt der tangentiale Durchmesser der nicht zu einem Haare ausgewachsenen Zelle 21,4 μ, der zu einem Haare ausgewachsenen 15 μ, Länge der gewöhnlichen Zelle 120 μ, der zum Haare ausgewachsenen 90 μ.

Melica ciliata. gewöhnliche Wurzelepidermiszelle tg. Durchm. 22 μ, Längsdurchm. 105 μ, bei den zu Haaren ausgewachsenen: tg. Durchm. 14 μ, Längsdurchm. 75 μ.

Aira flexuosa. tg. Durchm. der gewöhnl. Zelle 18 μ. Längsdurchmesser der gewöhnl. Zelle 102,5 μ. tg. Durchm. der zu einem Haare ausgewachsenen Zelle 12 μ. Längsdurchm. derselben 35—40 μ.

Dass die Wurzelepidermiszellen, die zu Haaren ausgewachsen, kleiner sind als die übrigen, scheint nicht wunderbar, wenn man annimmt, dass die Stoffe, die die gewöhnlichen Epidermiszellen für ihren Aufbau benutzen, die Mutterzelle des Wurzelhaares für dessen Bildung verwenden muss.

Die Form des einzelnen Haares ist die eines geraden Schlauches, der häufig geschlängelt oder wurmförmig gekrümmt erscheint und bekanntlich senkrecht zur Achse des Mutterorgans wächst. Nach der Spitze zu verjüngt sich das Haar ein wenig, an seinem Ende ist es etwas verdickt, gleichsam mit einer Mütze bedeckt. Über die Grössenverhältnisse gibt uns die beifolgende Tabelle Auskunft.

Name der Pfianze	Länge des Wurzelhaares	Breite des Wurzelhaares		Wandstärke des Wurzelhaares	
		am Fusse	an d. Spitze	am Fuss	an d. Spitze
	μ	μ	μ	μ	μ
Andropogon Isch.	180	8	7	1,3	1,3
Stipa pennata	250	14	6	1,5	1
Stipa capillata	250	13	6	1,5	1
Phleum Böhmeri	220	12	7	1,48	1,4
Aira flexuosa					
Koeleria crist.	250—280	8,75	5	1,48	1,2
Melica cil.	190	11	9	1,4	1,1
Festuca ov.					
Brachypodium pin.	175 –190	7	3	1,3	1

Bei der Absorption des Wassers und der in Wasser gelösten Substanzen spielt neben der Grösse der absorbierenden Fläche die chemische Zusammensetzung und die Dicke der Membran, durch die die aufzunehmenden Flüssigkeiten durch Osmose hindurchdiffundieren müssen, eine Hauptrolle. Da die Membran der Wurzelhaare sich genau wie die der Epidermis verhält, so mögen beide zugleich abgehandelt werden und was für die eine gilt, gilt ceteris paribus auch für die andere.

Kroemer[1]) hat in seinen Untersuchungen über die Wurzelhaut sich ausführlich mit der stofflichen Zusammensetzung derselben befasst und als Resultat gefunden, S. 20, dass eine Kutikula, d. h. eine im wesentlichen aus Kutin bestehende Lamelle bei der Wurzel niemals gebildet wird.

Wie aber ist die Wurzelepidermis unserer Gräser gebaut? In jüngeren Stadien d. h. bei Querschnitten, die 0,5—2,5 cm von der Wurzelspitze von diesjährigen Triebwurzeln geführt waren, kann man eine innere, eine äussere Lamelle und eine zwischen beiden liegende strukturlose Schicht unterscheiden. Die innere Lamelle ist fein und zart 0,2 μ stark und in ihrem Verlauf in äusseren, inneren Tangential- und den beiden Radialwänden sichtbar und in allen gleich stark.

Bei Melica, Koeleria, Sesleria färbt sie sich mit Chlorzinkjod schwach violett, bei Stipa, Phleum erscheint sie im jungen Zustande schon dunkel konturiert, nimmt keine bestimmte Färbung an, löst

[1]) *Kroemer*, Wurzelhaut, Hypodermis und Endodermis der Angiospermenwurzel. Bibliotheca botanica Heft 59, 1903.

sich nicht in H_2SO_4. In älterem Zustande verholzt sie bei Koeleria, Melica, Phleum, Stipa, d. h. sie färbt sich mit Phlorogluzin und Salzsäure rot, mit Anilinhydrochlorat gelb und löst sich nicht mehr in konzentrierter H_2SO_4. Die zweite äussere Lamelle erscheint bei allen untersuchten Gramineen dunkel tingiert, ist ebenfalls 0,2 μ dick, läuft aber bloss über die äusseren Tangentialwände hin; sie erfährt in ihrem geraden Verlaufe über den zwei Epidermiszellen gemeinsamen Radialwänden eine Knickung, biegt aber nicht in dieselben ein. Mit den gebräuchlichen Reagenzien färbt sie sich nicht, ist auch nicht löslich in H_2SO_4, dagegen wohl in Chromsäure. In einer Entfernung von 3—5 cm bei den einzelnen Wurzeln variiert die Entfernung — — ist sie nicht mehr vorhanden.

Dieselbe Lamelle hat *Kroemer*, S. 16, bei Zea Mais gesehen und er fasst sie wohl mit Recht als Residuum der Grenzlamelle zwischen Wurzelepidermis und Wurzelhaube auf. Die zwischen beiden liegende Schicht oder wo die äussere Lamelle nicht vorhanden ist, die äussere Schicht läuft ebenso wie die innere um sämtliche Wände herum, doch biegt sie nicht in ihrer ganzen Stärke in die Radialwände ein. Auf diesen erscheint sie keilförmig, auf der inneren Tangentialwand dagegen gleichmässig dick. Auf den äusseren Tangentialwänden ist sie es, die die aufliegenden Schleimmassen liefert. Welche Partie von ihr schon zu der Schleimmasse gehört, ist auf Querschnitten nicht klar ersichtlich; denn nicht durch eine scharfe Grenzlinie sind beide voneinander getrennt und abgegrenzt, sondern sie gehen allmählich ineinander über.

Namen	Dicke der Wand an der äusseren Tangentialwand μ	Dicke der Wand an der inneren Tangentialwand μ
Andropogon Isch.	1,4	0,5
Stipa pennata	1,5	0,6
Stipa capillata	1,5	0,6
Phleum Böhmeri	0,9	0,4
Sesleria coerul.	1,5	0,8
Koeleria crist.	1,2	0,6
Melica ciliata	1,4	0,35
Festuca ovin.	0,88	0,38
Brachypod. pin.	1	0,6

Was den Inhalt der Wurzelepidermiszellen anbelangt in den jungen Teilen der Triebwurzeln, so fand ich die Zellen in jungem Zustand sehr plasmareich; bei Schnitten, die an Triebwurzeln in der Entfernung von ca. 8 cm von der Spitze, bei älteren Haftwurzeln in der Entfernung von 2—3 cm von der Spitze geführt wurden, hielt es schon schwer, den Inhalt zu erkennen, doch konnte ich durch Plasmolyse mit Kaliumnitratlösung noch den wandständigen Cytoplasmaschlauch feststellen. Bei alten Wurzeln, bei denen überhaupt noch die Epidermis vorhanden war, war kein Inhalt mehr sichtbar und es drängt sich da die Frage nach dem Schicksal der Epidermis auf. Zu einem langdauernden Leben sind diese radialgestreckten, grossen Zellen mit ihren relativ dünnen Wänden von Hause aus nicht eingerichtet. So sieht man sie denn auch früh absterben; die Zellen verlieren den Turgor und werden zusammengepresst. Bei manchen Triebwurzeln schon in der Entfernung von 8—10 cm, z. B. bei Brachypodium, Andropogon Isch., sind die Zellen kollabiert; bei anderen geschieht das Zusammenfallen etwas später. Erhalten war die Wurzelepidermis bei Koeleria und Stipa, doch war hier die innere Lamelle durch Einlagerung von Holzstoffen resistenter geworden. Die Zellen selber waren auch tot und nur als blosses Gerippe erhalten geblieben.

In seinen vergleichenden Untersuchungen war *Klinge*, direkt unter der Epidermis, eine Zellschicht aufgefallen, die von grossen hexagonalen dünnwandigen Zellen gebildet wird, die sich in ihrem Bau nicht wesentlich von der Epidermis unterscheidet, die aber genetisch in keinem Zusammenhang mit ihr steht (*Klinge* S. 4). Eine solche Schicht findet sich auch bei einer Anzahl der von mir untersuchten Gramineen. Vor uns haben wir ein Hypoderm, eine Interkutis im Sinne *Kroemers* und zwar eine einheitliche, einschichtige, d. h. ein Gewebe, das eine Zelllage stark aus ungefähr gleich grossen und gleichgestalteten Zellen gebildet wird und interstitienlos sich an die Epidermis anschliesst. Die einzelnen Zellen dieser Hypodermis sind bei den verschiedenen Spezies verschieden; gewöhnlich haben sie hexagonale, selten polyedrische Form und sind an die Epidermis auf dem Querschnitte in der Weise angeordnet, dass ihre radialen Wände auf die Spitze der gebrochenen Kante der inneren Tangentialwände der Epidermis treffen; ist diese gerade, so treffen sie auf die Mitte derselben.

Eine derartige Anordnung setzt ungefähr gleich grosse Zellen der Wurzelepidermis und -hypodermis in tangentialer Richtung voraus. Wir finden sie bei Sesleria, Stipa, Festuca, Phleum. Bei Andro-

pogon übertreffen die Hypodermiszellen die Epidermiszellen in tangentialer Richtung an Grösse; die einzelne Zelle der Hypodermis ist hier isodiametrisch, häufig etwas in tangentialer Richtung gestreckt. Die Hypodermis grenzt dann so an die Epidermis, dass gewöhnlich die vordere, gewölbte Tangentialwand der Hypodermis drei Zellen der Epidermis gleichsam trägt. Auf dem Längsschnitt erscheinen die Hypodermzellen mehr oder weniger tafelförmig mit geraden oder wenig schräg gerichteten Wänden. Bei alten Wurzeln sind die Wände durchweg schräg gestellt.

Was die Wandstärke der Hypodermzellen anbelangt, so ist sie bei den Gramineen sehr dünn.

Name	Querschnitt der Hypodermis		Längendurchmesser der Hypodermis	Wandstärke
	radial	tangential		
	μ	μ	μ	μ
Andropogon Isch.	15	19,5	105	0,7
Stipa pennata	19	16	125	0,8
Stipa capillata	20	16	125	0,8
Phleum Böhm.	13,5	16,5	130	0,7
Aira flexuosa	27	21	110	0.7
Sesleria coerulea	28,5	22	140	0,8
Festuca ovina	26	17	115	0,9—1

Über den chemischen Aufbau der Wände der Hypodermis gewinnen wir am ersten Aufschluss, wenn wir aufeinanderfolgende Querschnitte vergleichen. Die stoffliche Natur der Lamellen, die die Hypodermis bilden, hat *Kroemer* in neuester Zeit aufgedeckt; dort findet sich auch in dem historischen Überblick die ganze Literatur, die bis jetzt über den Gegenstand erschienen ist, zusammengetragen.

Bei unseren Gramineen kann man einen Primär- und Sekundärzustand der Hypodermis unterscheiden. Je nachdem die äusseren Verhältnisse günstig sind, dauert der erstere kürzere oder längere Zeit und ist bloss ein Übergangsstadium zu dem letzteren.

Im primären Zustand besteht die Zellwand der Hypodermis aus Stoffen, die mit Chlorzinkjod keine deutliche Färbung geben, erst wenn man die Schnitte nach der Angabe von *Kroemer* (Wurzelhaut etc. S. 7 und 8) in Eau de Javelle legt, dann mit stark diluierter Salzsäure behandelt und schliesslich mit destilliertem Wasser mehrmals auswäscht, färbt sich die Zellwand mit Chlorzinkjod violett.

Durch die Javellebehandlung werden die Pektinstoffe, die das Eintreten der Färbung mit Chlorzinkjod verhindern, herausgelöst. Bei einer Anzahl von Triebwurzeln fand ich diesen Zustand noch im Abstand von 8 cm von der Spitze erhalten, z. B. bei Sesleria, Festuca; bei anderen, z. B. bei Andropogon, begann schon im Abstand von 0,8 mm von der Spitze eine Veränderung mit der Zellwand einzutreten; sie beginnt zu verholzen und gab die Phlorogluzinreaktion. Die Verholzung tritt aber bei allen Zellwänden der Interkutis ein, bei den einen früher, bei den anderen später.

Die Verholzung beginnt nun nicht gleichzeitig auf allen Seiten der Hypodermiszelle einzutreten, sondern die äussere Tangentialwand fängt mit ihr an, allmählich setzt sie sich dann auf die radialen und inneren Tangentialwände fort, so dass, wenn man auf dem einen Schnitt nur die äussere Tangentialwand verholzt findet, auf dem nächstfolgenden oder dem nächstnächstfolgenden auch die inneren Wände die Phloroglucinreaktion geben. Sind aber die Wände verholzt, dann schickt sich die Wurzel an, Suberinlamellen fast gleichzeitig in allen Zellen aufzulagern — Lamellen, die unlöslich sind in Schwefel- und Chromsäure und mit Sudanglyzerin (*Kroemer* S. 9) rot gefärbt werden. Die Lamelle selber ist dünn, 0,3—0,4 μ. Mit der Anlage der Suberinlamelle ist aber das Wachstum der Zellwand noch nicht abgeschlossen, sondern es werden noch, wie schon *von Höhnel*[1]) gezeigt hat, noch Celluloselamellen aufgelagert, die aber bei unseren Gramineen dünn bleiben, stofflich sich verändern und Holzstoffe einlagern.

Bei Koeleria, Melica, Brachypodium konnte ich mich nicht recht entschliessen, die unter der Epidermis liegende Zellschicht als Hypoderm aufzufassen, obwohl auch hier die Zellen zum Teil durch ihre Form sich von den Rindenzellen unterscheiden. Doch die meisten Zellen dieser Schicht ähneln in ihrem Äussern so den Rindenzellen, dass ich sie bei ihnen erwähnen werde. Zwar legen auch hier die Zellen eine Suberinschicht, die nach *Kroemer* das Hauptcharakteristikum der Hypodermis ist, an, doch sah ich die Korkschicht bei Melica in der nächstfolgenden Rindenschicht statt in der auf die Epidermis folgenden sich auflagern. Ich bezeichne daher bei den genannten Pflanzen diese Schicht als äussere Rindenschicht.

Seit altersher ist man gewöhnt, die Rinde in Aussen- und Innenrinde einzuteilen. *Klinge*, der in seinen vergleichenden Untersuchungen

[1]) *von Höhnel*, Über den Kork und verkorkte Gewebe überhaupt. Sitzungsberichte der Kaiserl. Akademie zu Wien. Math.-naturw. Klasse, LXXVI. Bd. 1. Abt., 1877, S. 507.

der Rinde der Gramineen eine grosse Aufmerksamkeit zu Teil werden lässt, macht unter Zugrundelegung dieser Einteilung folgende Unterabteilungen: Er unterscheidet S. 7 u. flgd.:

I. Wurzeln, bei denen die Aussenrinde eine Schicht bildet von Polygonalzellen, die ohne Interzellularen aneinanderstossen, deren Innenrinde ebenso gebaut ist wie die Aussenrinde, bloss dass hier Interzellularen vorhanden sind.

Wurzeln dieser Art können nach *Klinge* weiter eingeteilt werden, in solche, bei denen die Rinde dauernd erhalten bleibt oder in solche, bei denen die Rinde mehr oder weniger vollkommen verschwindet.

II. Die 2. Abteilung der Klingeschen Einteilung umfasst die Wurzeln mit sklerenchymatisch verdickter Aussenrinde und einer Innenrinde, die aus radial übereinanderliegenden konzentrischen Zellreihen besteht, in der aber später Zerrungen und Reissungen eintreten, so dass bloss Aussen- und Innenrinde verbindende Zellbänder in radialer Richtung erhalten bleiben, von den von *Klinge* bei den Cyperaceen geschilderten Veränderungen sehe ich ab.

Freidenfelt[1]), der den anatomischen Bau der Wurzel in seinem Zusammenhang mit dem Wassergehalt des Bodens behandelt, betrachtet die Differenzierung in der Rinde vom biologischen Gesichtspunkte. Er kennt einen hydrophilen und einen xerophilen Rindentypus. Den ersteren charakterisiert er folgendermassen:

„Aussen- und Innenrinde scharf abgesetzt, erstere mehr oder weniger stark mechanisch ausgebildet, letztere radial und konzentrisch gebaut, in ihrem äussern Teil Interzellularen und im ältern Stadium durch meist regelmässige Kollabierung entstandene Lakunen hegend, in ihrem innern Teile im Vergleich zu dem folgenden Typus weniger stark oder gar nicht mechanisch ausgebildet. Der xerophile Rindentypus ist nach *Freidenfelt* wie folgt charakterisiert: Innen- und Aussenseite nicht scharf von einauder getrennt, letzere mechanisch oft gar nicht ausgebildet, erstere nicht regelmässig gebaut, ohne oder mit Interzellularen, ohne regelmässige Kollabierung, in ihrem innersten Teil stark mechanisch ausgebildet. Hier deckt sich der erste Typus von *Freidenfelt* mit dem zweiten von *Klinge*, und der zweite Freidenfeltsche mit dem ersten von *Klinge*. Unsere Untersuchungen erstrecken sich in ersterer Linie auf Pflanzen mit xerophytischer Lebensweise; diese müssten sich also in das 2. Freidenfeltsche Schema

1) *Freidenfelt*, Der anatomische Bau der Wurzel in seinem Zusammenhange mit dem Wassergehalt des Bodens. Bibl. botanic. Heft 61, S. 84.

einordnen lassen, zum Teil tun sie es auch, andere, z. B. Stipa capillata und pennata, die doch ausgesprochene Xerophyten sind, nähern sich in ihrem Bau dem hydrophilen Freidenfeltschen Typus, wieder andere z. B. Koeleria bildet zwischen beiden Typen mannigfache Übergänge. Zudem zeigen sich in jeder Wurzel eine Reihe von Besonderheiten und charakteristischen Eigentümlichkeiten, dass ich es vorziehe bei der Einzelbeschreibung auf das Rindgewebe jeder Pflanze näher einzugehen.

Was den Inhalt der Rindenzellen anbelangt, so besteht er bei Triebwurzeln natürlich aus körnigem Protoplasma, 6—8 cm von der Wurzelspitze ist er bloss als Wandschlauch erhalten; in ältern Wurzeln, soweit die Rinde überhaupt erhalten ist, ist sie ohne protoplasmatischen Inhalt. In solchem Zustand dient sie lediglich der Wurzel als schützender Mantel zuweilen aber auch, z. B. bei Brachypodium pinnatum, als Reservestoffbehälter: als Stärkespeicher.

Kristalle habe ich in der Rinde nur bei einer Koeleria gefunden, die auf dem Saupürzel bei Karlstadt gewachsen war, und zwar waren sie in Rosettenform angeordnet und bestanden aus oxalsaurem Kalk.

Der Bau der Epidermis und Rinde stimmt bei stärkern Nebenwurzeln vollkommen mit dem der Hauptwurzel überein, bei schwächern Nebenwurzeln I. Ordnung und solchen 2. Ordnung tritt eine mehr oder weniger grosse Reduktion der einzelnen Zellen sowie kleine Änderungen in der Lage derselben ein. In Einzelheiten verweise ich auf die Einzelbeschreibung.

Die innerste Rindenzelllage wird bekanntlich von der Endodermis gebildet. Als Grenzschicht zwischen Rinde und Zentralzylinder hat sie von jeher das grösste Interesse der Forscher erregt, und eine grosse Literatur ist über sie entstanden. Indem ich auf die mehrfach zitierte Arbeit von *Kroemer* verweise, wo sich die übrige Literatur verzeichnet findet, gehe ich zur Beschreibung der Endodermis unserer Wurzeln über. Bei den untersuchten Gramineen stehen die Zellen der Endodermis in lückenlosem Verbande unter sich und erscheinen auf dem Querschnitte bald isodiametrisch bei Brachypodium pin. Festuca ovina, bald mehr in tangentialer Richtung bei Melica cil., Phleum Böhmeri, bald mehr in radialer Richtung gestreckt: Koeleria crist., Sesleria coerulea. Die Radialwände korrespondieren mit denen der angrenzenden Rindenzellwände und erscheinen senkrecht zu der vordern graden Tangentialwand, gestellt, nur bei Melica cil. waren sie durchgängig schräg nach aussen gerichtet; die innere Tangential-

wand wölbt sich gewöhnlich in den Zentralzylinder etwas vor, oder auch sie erscheint zweimal gebrochen, so dass sie aus drei kurzen Flächen, die unter ziemlich stumpfen Winkeln aneinander stossen, besteht. Auf dem Längsschnitt erscheinen die Endodermzellen tafelförmig, mehrmal länger als breit. Die Querwände zwischen den einzelnen Zellen sind gerade oder nur wenig schräg gestellt.

Kroemer hat in den mehrfach erwähnten Untersuchungen S. 87 und flgde. die chemische Struktur der die Endodermislamellen bildenden Stoffe genau studiert und nach ihm kann man vier Entwickelungsstadien bei der Endodermis verfolgen. Sehen wir von dem Embryonalzustand ab, so besteht im Primärzustand die Endodermis bei den untersuchten Gramineen aus Zellen, die ihre definitive Grösse erreicht haben, deren Wände gleich stark erscheinen und eine Differenzierung von Lamellen auch auf der äussern tangentialen Wand nicht erkennen lassen. Auf den Radialwänden ist der Casparische Streifen in Form einer feinen gewellten Linie in der Nähe der inneren Tangentialwand sichtbar. Mit Phloroglucin färbt er sich rot, während die übrigen Wände auch mit Chlorzinkjod keine deutliche Reaktion ergaben. Schön deutlich war der Casparische Streifen zu sehen auf Schnitten, die in einer Entfernung von 2—5 mm von der Spitze geführt wurden; bei Schnitten in grösserer Entfernung war die Zellmembran etwas verdickt und der Casparische Streifen nicht mehr deutlich. Gleichzeitig mit der Verdickung war auch eine Veränderung in dem chemischen Aufbau des Lamelle eingetreten: sie verholzt und gibt die Phloroglucinreaktion. In diesem Zustande kann die Membran längere oder kürzere Zeit verweilen, dann aber tritt sie in den Sekundärzustand, d. h. sie lagert eine feine dünne Suberinlamelle auf allen Seiten der einzelnen Zellen gleichzeitig auf, auf die sich eine sich verändernde, meistens verholzende dünne Zellulosenlamelle schichtet. Auch der Sekundärzustand ist bloss vorübergehend; erst der Tertiärzustand ist der bleibende, der unmittelbar nach dem Sekundärzustand eintritt. Im Tertiärzustand werden zahlreiche Schichten nach den Untersuchungen *van Wisselinghs*[1]) durch Apposition auf die vorhandenen aufgelagert, Schichten, die bei den meisten Gramineen Holzreaktion geben; bei Andropognon Isch. sind sie verkieselt; bei Melica ciliata sind die innere Tangentialwand sowie die Radialwände verholzt, die äussere

1) *van Wisselingh*, La Gaîne du cylindre central dans la racine des Phanérogames pag. 109. Archives Néerlandaises Tom. XX, 1886.

kutinisiert. Häufig erscheinen die Schichten gelb gefärbt, bei andern weiss und stark lichtbrechend. Die aufgelagerten Schichten lassen deutlich eine Schichtung erkennen und sind von verzweigten Tüpfelkanälen durchzogen. Die einzelne Schicht gibt nach der Auflagerung stets Zellulosereaktion, verändert aber ihre Struktur, sobald eine neue Lage von Zellwandstoffen sich über ihr ausbreitet, so dass bei wachsenden Zellhäuten die jüngste mit Chlorzinkjod blau gefärbt, die darunter liegenden aber verholzt oder kutinisiert erscheinen. In alten Zellwänden ist auch die oberste Partie der Zellwände chemisch verändert. In welchem Spitzenabstand der Primär-, Sekundär- und Tertiärzustand beginnt resp. aufhört, das will ich bei der Einzelbeschreibung erwähnen. Gewöhnlich war das Verhältnis so ausgebildet, dass bei den schnell wachsenden Triebwurzeln der Primärzustand länger andauert als bei ältern Wurzeln, die ihr Längenwachstum abgeschlossen hatten; bei diesen fand ich schon wenige Millimeter hinter der Wurzelspitze den Tertiärzustand vollkommen entwickelt, während bei Triebwurzeln von Sesleria, Brachypodium an einzelnen Exemplaren noch in Entfernung von 6 cm von der Spitze der Primärzustand erhalten war.

Im Tertiärzustand der Endodermis werden die Verdickungsschichten, teils gleichmässig auf allen Wänden angelegt: O-scheiden im Sinne *Russows*[1]), teils werden die innern Tangentialwände und die Radialwände bei der Anlage der Verdickungsschichten bevorzugt: C-scheiden *Russows*. Diese verschiedenen Verdickungsformen stehen im Dienste der gleichen Sache, indem sie in erster Linie mechanischen Zwecken dienen; sie sind, wie *Schwendener*[2]) sagt, blosse Variationen der Konstruktion, welche als Festigungseinrichtung nahezu gleich rationell sind.

Eine O-scheide findet sich bei Phleum Böhmeri und Sesleria coerulea, doch herrscht bei letzteren namentlich bei ältern Wurzeln die Tendenz vor, die innere Tangentialwand mehr als Radial- und äussere Tangentialwände zu verstärken.

Bei allen übrigen haben wir ausgesprochene C-scheiden. Die Verdickungsschichten füllen zuerst die schärfern Ecken der Endodermis aus und runden dieselben ab, dann lagern sich immer neue Verdickungsschichten zunächst gleichmässig auf; sehr bald aber hat

[1]) *Russow*, Betrachtungen über das Leitbündel und Grundgewebe. Dorpat 1875, S. 72.

[2]) *Schwendener*, Die Schutzscheiden und ihre Verstärkungen in den „Gesammelten Abhandlungen“ S. 127.

die äussere Tangentialwand ihre definitive Stärke erreicht, und die Verdickungsschichten werden von nun an auf die vordere Tangentialwand und auf die ganzen Radialwände oder nur Teile derselben aufgelagert. Die Radialwände erscheinen dadurch auf dem Querschnitt keilförmig.

Was die Durchlässigkeitsverhältnisse der Endodermis anbelangt, so ist *Kroemer* in seiner Abhandlung S. 143 der Ansicht, dass mit eintretender Verkorkung der Stoffverkehr zwischen Rinde und Leitbündel entweder ganz aufgehoben oder möglichst eingeschränkt wird. Wir finden, so sagt er, S. 143, den völligen Abschluss der Endodermis bei Gramineen- und Cyperaceenwurzeln, an Stellen, wo die Rinde beginnt ganz oder mit Ausnahme weniger Stellen abzusterben. Meine Untersuchungen haben mir aber gezeigt, und namentlich bei Koeleria ist es mir aufgefallen, dass die Endodermis schon im Tertiärzustand sich befand, während die Rinde und die Epidermis völlig intakt und noch mit lebenden Wurzelhaaren versehen war. Dass der Saftverkehr zwischen Rinde und Zentralzylinder noch längere Zeit auch nach Anlegung der Suberinlamellen in der Endodermis fortbesteht, darauf deuten auch die zahlreichen, häufig verzweigten Tüpfelkanäle, die die Tertiärschicht durchziehen. Typische Durchlasszellen, wie man sie bei vielen Wurzeln der Mono- und Dikotylen zu sehen gewohnt ist, sind nicht vorhanden. Mit dem Absterben der Rinde verschwinden auch die Tüpfel, so dass man von nun an die Endodermis als impermeabel bezeichnen kann.

Der Zentralzylinder besteht aus dem Perikambium, Gefässteil, Siebteil, den zwischen beiden liegenden parenchymatischen Elementen und einem innern Zellgewebe, das man bei Andropogon als Mark, bei allen übrigen mit *Klinge* als Leitzellen bezeichnen kann.

Lückenlos schliesst sich das Perikambium an die Endodermis an. Wo etwa durch die Raumverhältnisse kleine Zwischenräume zwischen den Zellen des Perikambiums und der Endodermis vorhanden sein sollten, sind sie durch Interzellularsubstanz, einer Masse, die im chemischen Aufbau aus Stoffen, wie die angrenzende Rindenschicht besteht, ausgefüllt. An die Endodermis grenzen die einzelnen Zellen des Perikambiums in der Weise an, dass gewöhnlich bei gewölbter zwei zuweilen drei, bei gebrochener Tangentialwand der Endodermis drei Zellen von ihr gleichsam ausstrahlen. Die Zellen des Perikambiums sind meistens nicht alle gleich gross und nicht gleichwertig. Schon der Umstand, dass bei den Gramineen die Nebenwurzeln aus den Perikambialzellen vor dem Siebteil ihren Ursprung nehmen, deutet

das an. Bei Aira flexuosa erscheinen die Perikambialzellen gleich gross, bei den übrigen verschieden. Stets sind die Zellen vor dem Siebteil grösser als die vor dem Gefässteil; meistens sind sie in radialer Richtung gestreckt, von polygonaler Gestalt; die Zellen vor dem Gefässteil sind ebenfalls polygonal, bei einigen in radialer Richtung gestreckt, bei andern von isodiametrischem Querschnitt. Zwischen den beiden Zellen finden sich hinsichtlich ihrer Grösse allmählige Übergänge, so dass die Perikambialzellen aus Zellen mit steigenden und fallenden Grössenverhältnissen zusammengesetzt sind, wobei aber vor dem Siebteil stets die grössten Zellen liegen.

Bei Sesleria, Koeleria, Festuca, Phleum grenzt an diese Pericykelschicht gleich der Siebteil direkt; bei Melica, Stipa pen. et capillata, Brachypodium, Andropogon liegt zwischen Siebteil und Endodermis noch eine zweite in nichts von dem Perikambium sich unterscheidende Zellage; während ich sie bei Stipa, Melica, Andropogon stets fand, war sie bei Brachypodium nicht immer vorhanden. Vor dem Gefässteil liegen gewöhnlich zwei kleine Zellen, die durchgängig gleich gross erscheinen. Bei Stipa, Sesleria steigt die Zahl derselben auf drei, manchmal auf vier; dann sind die beiden nach aussen liegenden gleich gross, die innern aber variieren in der Grösse und sind kleiner als die äussern.

Die Länge der Perikambiumzellen sowohl der vor dem Sieb- wie Gefässteil schwankt bei sämtlichen untersuchten Pflanzen in engen Grenzen; durchschnittlich waren sie 100—130 μ lang, mit gerade oder schräg gestellten Querwänden und auf allen Seiten mit zahlreichen Tüpfeln versehen.

Hinsichtlich der Wandstruktur kann man auch bei den Perikambiumzellen einen Primär- und Sekundärzustand unterscheiden. Im ersten Falle sind die Zellen unverdickt und zeigen eine zwei Zellen gemeinsame Mittellamelle und eine Innenlamelle. Die erstere besteht im wesentlichen wieder aus Pektinstoffen, die letztere aus Cellulose. Mit den stofflichen Änderungen in der Endodermis geht eine solche der Perikambiumschichten Hand in Hand. Beide Lamellen verholzen und legen ausserdem Verdickungsschichten an. *Van Tieghem* erwähnt in seinem Traité de Botanique S. 692, dass die Perikambiumschichten sich erst viel später verstärken als die Endodermzellen, doch bei den hier an den Gramineen vorgenommenen Untersuchungen fand ich, dass das Dickenwachstum beider Zellschichten mit einander korrespondiert. Die Verdickungsschichten werden zunächst an den innern, dem Siebteil zugekehrten Wänden, dann aber auch an den

Radial- und äussern Tangentialwänden angelegt. Die aufgelagerten Verdickungsschichten sind bei denselben Pflanzen oft recht verschieden stark; bald nehmen sie relativ grosse Dimensionen an, bald bleiben sie geringer, bald werden sämtliche vier Wände gleichmässig verdickt, bald erstrecken sich die Verdickungsschichten bloss auf die Tangentialwände, während die Radialwände relativ dünn bleiben. Überall bei allen diesen Verdickungsschichten macht sich das Bestreben der Wurzel geltend, den Schutz für die Leitorgane des Gefäss- und Siebteils zu vergrössern. Damit die verdickten Zellwände nach dem Saftverkehr erhalten bleiben, sind sie mit zahlreichen kleinen runden oder ovalen Tüpfeln ausgestattet, die die Verbindung zwischen Perikambium und angrenzenden Zellen, mögen sie der Endodermis, dem Sieb- oder Gefässteil angehören, herstellen.

Der Siebteil besteht aus Zellkomplexen, die in derselben Zahl wie die Protoxylemzellen vorhanden sind und zwischen denselben eingelagert sich vorfinden. In fertig ausgebildetem Zustand besteht der ganze Siebteil aus 4—8 Zellen, deren Konfiguration für alle untersuchten Gramineen mehr oder weniger gleich erscheint. — Die Entwickelungsgeschichte dieser Zellen war schon häufig der Gegenstand eingehender Untersuchungen, so hat sich *Klinge* [1]), *Janczewski* [2]) mit derselben befasst, doch war es ihnen nicht möglich, den Entwicklungsgang der Phoemgruppen klarzulegen. Erst *Chauveaud* [3]) erkannte den Ursprung der ganzen Gruppe aus einer Initiale. Für Koeleria crist. und Melica ciliata habe ich die Entwickelungsgeschichte verfolgt und folgende Bilder bekommen. Beginnt man von der Wurzelspitze ab Serienschnitte zu machen, dann treten im Abstand von 1 mm von der Spitze, also an Stellen, wo die Wurzelhaube mit gewöhnlich 2 Lagen die Wurzelspitze bedeckt im Leitstrang unter der Perikambiumzone grössere Zellen auf, die durch eine Radialwand sich teilen. Die eine dieser Zellen teilt sich abermals durch eine schräg zu den übrigen gerichtete Wand; durch ungleiches Wachstum der Zellen wird dann die zuletzt abgeschnittene Zelle nach vorn dem Perikambium zu verschoben, so dass sie genau vor den beiden anderen gelagert ist. Sie erhält eine rhombusähnliche Form und ist zwischen zwei in radialer Richtung gestreckten Perikambiumzellen in der Weise ein-

1) *Klinge,* Vergleichende Untersuchungen. S. 35.

2) *Janczewski,* Etudes comparées sur les tubes cribreux. Ann. des sc. nat. 6 sér. Tome XIV. pag. 112.

3) *Chauveaud,* Recherches sur la mode de formation des tubes criblés dans la racine des monocotylédones.pag. 308 u. folgde. Annales des sciences natur. VII sér.

gekeilt, dass ihre Spitze auf die zwei Perikambialzellen gemeinsame Radialwand trifft.

Durch Wandverdickung, Perforation der Querwände bildet sie sich zur Siebröhre um; die beiden darüberliegenden Zellen, die *Chauveaud* als Cellules libériennes bezeichnet, behalten ihre Membranen relativ lange dünn und werden von einer grösseren Zelle gleichsam überkrönt, die sich zu einer Siebröhre direkt oder nach Auftreten von ein oder zwei Teilungswänden umwandelt. Teilungswände treten häufig auch noch in den beiden mittleren Zellen des Siebteils auf, so dass die Zellenzahl des Siebteils bis zu acht steigt. Was die Grössenverhältnisse anbelangt, so ist die äussere, rhombische Zelle die kleinste, nach innen zu nehmen die Zellen an Grösse zu. Dies Verhältnis traf bei allen untersuchten Spezies zu. In Zahlen ausgedrückt erhalten wir für die einzelnen Pflanzen folgende Werte: Andropogon Isch. besitzt durchschnittlich sieben Siebelemente. Die rhombische Zelle ist isodiametrisch 3 μ gross auf dem Querschnitt. Von den Flankenzellen teilt sich gewöhnlich die eine durch eine Tangentialwand, so dass wir zwei à 4 μ und eine 7 μ grosse Zelle finden. Die innerste Zelle hat durch radiale Teilung drei gleiche grosse Zellen von je 8 μ Durchmesser gebildet.

Stipa capillata. Der Siebteil besteht aus 8 Zellelementen bei der ausgewachsenen Wurzel, an den Flanken des Siebteils fallen stark lichtbrechende verdickte Zellen auf, die als Schutzorgane die feinen Siebelemente vor Druck und Zug bewahren. Von der Endodermis ist die rhombische Zelle durch zwei Reihen von Perikambialzellen getrennt; sie ist isodiametrisch, 5 μ auf dem Querschnitt gross.

Die Flankenzellen haben sich beide durch tangentiale Wände geteilt in 4 gleich grosse und gleichgestaltete Durchmesser 4,5 μ. Die innerste Zelle hat zwei Zellen durch radiale Wände abgeschnürt, Durchmesser 8 μ.

Bei Stipa pennata sind die gleichen Grössenverhältnisse.

Phleum Böhmeri. Die rhombische Zelle 4,5 μ isodiametrisch; die Flankenzellen sind in radialer Richtung gestreckt 6 μ; in tangentialer Richtung beträgt ihr Durchmesser 3 μ. Die innerste Zelle ist durch radiale Teilungswände in 2 Zellen geteilt. Radialer Durchmesser = 8 μ, tg. = 6 μ.

Aira flexuosa. Hier sind sämtliche Elemente des Siebteils in tangentialer Richtung gestreckt.

Rhombische Zelle tangentialer Richtung 5,8 μ, in radialer Richtung 3 μ. Die Flankenzellen, von denen eine sich durchschnittlich

durch Tangentialwand teilt, haben tangentialen Durchmesser von 7,5 μ und radialen von 5,8 μ. Die innerste Zelle ist in tangentialer Richtung 9 μ, in radialer 7,5 μ gross.

Koeleria cristata. Von der Endodermis ist der Siebteil durch eine Lage von Perikambiumzellen getrennt. Die rhombische Zelle ist in radialer Richtung 6 μ, in tangentialer 4,5 μ gross. Die Flankenzellen sind auf dem Querschnitt ungleich. Die eine misst in radialer Richtung 10,5 μ, die zweite 7 μ, in tangentialer die eine 7,5 μ, die zweite 6 μ. Die innerste Zelle ist durch Radialwände häufig in drei Zellen geteilt, deren Durchmesser bei isodiametrischer Form 7,5 μ beträgt.

Melica ciliata. Durch mehrere Zelllagen von Perikambiumzellen von der Endodermis getrennt. Die rhombische Zelle ist in radialer Richtung 3 μ, in tangentialer 4,5 μ gross. Von den Flankenzellen hat sich die eine geteilt, Durchmesser derselben in radialer 3,5 μ, in tangentialer = 4,5 μ. Die innerste Zelle des Siebteils ist 10 μ gross und isodiametrisch.

Sesleria coerulea. Die rhombische Zelle 5 μ isodiametrisch. Von den Flankenzellen hat sich bloss die eine geteilt. Diese beiden durch Teilung entstandenen Zellen messen 4 μ in radialer und tangentialer Richtung; die ungeteilte in radialer Richtung 7,5, in tangentialer 4,5 μ. Die innerste Zelle ist radial 11 μ gross.

Festuca ovina. Rhombische Zelle 3,5 μ isodiametrisch. Von den Flankenzellen hat sich die eine in zwei gleiche Zellen geteilt, deren Durchmesser 5 μ in radialer, 4 μ in tangentialer Richtung beträgt. Die ungeteilte misst 7 μ in radialer, 5 μ in tangentialer Richtung. Die innerste Zelle teilt sich häufig in 2, häufig auch in drei Zellen, deren radialer Durchmesser 9 μ und tangentialer 5 μ beträgt.

Bei Brachypodium pinnatum besteht der Siebteil durchschnittlich aus 4 Zellen, die rhombische Zelle misst auf dem Querschnitte 3,5 μ, die an den Flanken hängenden 5,5 μ, die innerste 7—8 μ.

Die Wandstärke der Siebelemente ist dünn und zart und beträgt durchschnittlich höchstens 1 μ; sie besteht aus Chlorzinkjod blaufärbender Zellulose; in alten Wurzeln verdicken und verholzen sämtliche Siebelemente und geben die Phloroglucinreaktion. *Klinge* gibt in seinen Untersuchungen die Verholzung der Siebelemente bei Molinia und Festuca, S. 36, als Ausnahme an; ich kann sie aber als stete Regel bei sämtlichen untersuchten Gramineen anführen; sie tritt erst ein, wenn sämtliche übrigen Elemente des Zentralzylinders schon ver-

holzt sind, und in alten Wurzeln ist der Siebteil auf dem Querschnitt kaum noch zu erkennen.

Vom Siebteil durch eine, manchmal durch zwei Zelllagen getrennt befindet sich der Gefässteil. *Klinge* unterscheidet zwischen Protoxylem und Zentralgefässen, wobei er unter diesen die nach der Mitte gerückten weiten Gefässe versteht, die von jenem an der Peripherie des Zentralzylinders liegenden kleineren durch mehrere Zelllagen getrennt sind. Angelegt werden bekanntlich die Zentralgefässe im Plerom zuerst und später die kleineren peripheren, doch die definitive Ausbildung erfolgt zuerst bei den kleineren, so dass die Anlage der Gefässe in zentrifugaler, die Ausbildung in centripetaler Reihenfolge erfolgt.

Auf das anormale Stellungsverhältnis des Xylems bei den Gramineen hat zum erstenmale *van Tieghem*[1]) aufmerksam gemacht, und *Klinge* hat in seinen Untersuchungen die Sache näher verfolgt und eine Tabelle aufgestellt, in der er die verschiedenen Gramineen je nach dem Stellungsverhältnis des Xylems zum Perikambium resp. zur Endodermis einteilt. Bei unseren untersuchten Gramineen sind die Protoxylemzellen von der Endodermis meistens durch mehrere, gewöhnlich zwei, selten drei Zellreihen getrennt. Bei Koeleria cristata und Aira flexuosa befand sich zwischen Endodermis und Protoxylem eine Zellreihe, manchmal auch war diese Schicht durchbrochen, so dass das kleinere Gefäss direkt an die Endodermis grenzt. Bei allen übrigen Gramineen habe ich nie ein Durchbrechen der Perikambiumzone durch den Gefässteil gesehen.

Was die Anordnung der Protoxylemzellen anbelangt, so befinden sie sich an der Peripherie des Zentralzylinders gleichmässig verteilt, manchmal in der Einzahl, häufiger aber in der Mehrzahl. Sind mehrere Protoxylemgefässe vorhanden, dann liegen sie entweder neben- oder hintereinander; auf dem Querschnitt sieht man beide Bilder häufig vereinigt. Die Zahl der Protoxylemzellen wechselt mit dem Dickendurchmesser der Wurzel. Bei ungefähr gleichem Querschnitt ergaben sich für die diversen Wurzeln fast die gleichen Zahlen. Bei Andropogon Isch. liegen 25 Protoxylemgefässe meistens einzeln, selten 2 hintereinander an der Peripherie des Zentralzylinders. Von der Endodermis sind sie durch 3 Zellreihen getrennt. Die lichte Weite der Protoxylemgefässe beträgt durchschnittlich 10 μ.

[1]) *M. Ph. van Tieghem,* Recherches sur la symétrie de structure desplantes vasculaires. I. La racine. 1871. pag. 141 u. folgd.

Bei Stipa pennat. capil. — durchschnittlich 20 Protoxylemelemente — herrscht in der Anordnung der Protoxylemelemente in bezug auf ihre Lage zur Endodermis ziemliche Willkür auf demselben Querschnitt. Bald sind sie nur durch zwei, bald durch drei oder vier Lagen von derselben getrennt. Regellos wie ihre Anordnung erscheint auch ihre Zahl. Bald findet sich bloss ein einziges, bald sind es zwei, bald mehr. Sind 3 oder 4 vorhanden, so liegen sie schräg hintereinander auf dem Querschnitte, sind aber zuweilen durch eine parenchymatische Zelle in zwei gleichwertige Platten gespalten.

Phleum Böhmeri besitzt durchschnittlich 22 Protoxylemelemente, deren lichte Weite 7 μ beträgt und die zu zweien neben- oder hintereinander liegen. Von der Endodermis sind sie durch eine zweireihige Zellschicht getrennt.

Aira flexuosa. Anzahl: 14 Protoxylemzellen, die in der gewöhnlichen Anordnung durch eine Perikambiumschicht in Einzahl vorhanden sind und deren lichte Weite 7 μ, deren Wandstärke 3 μ beträgt.

Sesleria coerulea. 22 Protoxylemelemente. Von der Endodermis durch eine zweischichtige Lage von Zellen getrennt befindet sich ein Zellkomplex von durchschnittlich 2 gleich grossen Gefässen. Dieselben liegen hinter-, selten nebeneinander. Ihre lichte Weite beträgt 8 μ; zuweilen ist auch das vordere Gefäss kleiner, sein Lumen beträgt dann 4 μ. Die Wanddicke der Protoxylemelemente beträgt durchschnittlich 2,5 μ.

Koeleria cristata. Von der Endodermis durch eine Zelllage, die häufig noch durchbrochen wird, befinden sich 12—15 Protoxylemplatten. Die Zahl der Gefässe, die bei Koeleria eine solche Platte bilden, ist sehr variabel. Sehr selten fand ich bloss ein Gefäss, zuweilen waren es zwei gleich grosse, neben- oder hintereinander, manchmal war das vordere kleiner und durchbrach regelmässig die Perikambiumschicht. Häufig stieg auch die Zahl der das Protoxylem bildenden Gefässe auf 5, die schräg hintereinander lagen. Das Lumen der Protoxylemgefässe beträgt 10—12 μ, der kleinen direkt an die Endodermis grenzenden 3 μ. Wandstärke bei allen durchschnittlich 2,4 μ.

Melica ciliata. Protoxylem aus 14—16 Elementen gebildet, die einzeln oder zu zweien hintereinander in der gewöhnlichen Weise angeordnet und von der Endodermis durch 2—3 Zelllagen getrennt erscheinen. Ihre lichte Weite durchschnittlich 7 μ, ihre Wanddicke 2,88 μ.

Festuca ovina. 15 Protoxylemelemente vorhanden. Das einzelne besteht aus 2 gleichgrossen (8 μ) oder einem kleineren (5 μ) und grösseren (8 μ) Gefässen. Die Wandstärke des einzelnen Gefässes beträgt 2 μ. Die Protoxylemelemente sind von der Endodermis durch eine oder zwei Lagen von Perikambiumzellen getrennt.

Brachypodium pinnatum besitzt durchschnittlich 14—16 Protoxylemelemente, die von der Endodermis durch 2—3 Lagen von Zellen getrennt sind. Gewöhnlich eine oder zwei gleichgrosse Zellen hintereinander an der Peripherie im Kreis angeordnet. Die lichte Weite des einzelnen Gefässes beträgt 8,8 μ, seine Wanddicke 2,5 μ.

Neben den Protoxylemzellen sind noch die weitern Zentralgefässe bei den Gramineen vorhanden. Auch sie liegen im Kreis angeordnet und sind gewöhnlich so gruppiert, dass zwischen je zwei Protoxylemplatten ein grosses Zentralgefäss sich befindet. Bei Sesleria coerulea und Phleum Böhmeri haben wir aber nicht nur einen, sondern gewöhnlich 2 Kreise von Zentralgefässen, die in ihrer Stellung mit einander alternieren. Der innerste Teil des Zentralzylinders ist bei Koeleria von eingestreuten Gefässen besetzt, während er bei den übrigen frei davon erscheint. Die Grösse der einzelnen Zentralgefässe schwankt bei den einzelnen Pflanzen, und der Einfluss des umgebenden Mediums macht sich bei seiner Ausbildung mächtig geltend; daher finden wir bei denselben Pflanzen Differenzen bis zu 12 μ hinsichtlich der lichten Weite der Gefässe. Die Wandstärke der einzelnen Gefässe dagegen ist ziemlich konstant und beträgt durchschnittlich 3 μ.

Was die Art der Wandverdickung bei den Gefässen anbelangt, so fand ich wie *Klinge* nie Ring- oder Spiralgefässe, sondern stets Tüpfel-, Netz- oder Leitergefässe sowohl bei den Protoxylme als auch bei den Zentralgefässen.

Der ganze übrige Teil des Zentralzylinders wird von Elementen eingenommen, die ich mit *Klinge* als Leitzellen bezeichnen möchte; nur bei Andropogon Isch. findet sich ein Mark ausgebildet. Auf dem Querschnitt erscheinen die Leitzellen nicht alle gleich. Zunächst sind die Zellen, die den Gefässen anliegen, von anderm Aussehen wie die übrigen. Sie erscheinen oval und liegen mit ihrer Breitseite den Gefässen an, bei Sesleria coerulea umgeben sie auch den Siebteil. Die übrigen Zellen sind von isodiametr. Querschnitt und nehmen von aussen nach innen an Grösse zu. Die Grössenverhältnisse bei den einzelnen schwanken zwischen 12—15 μ. Auf dem Längsschnitt erscheinen die Leitzellen sehr verschieden, die dem Gefässteile anliegen-

den sind kurz, parenchymatisch 40—50 μ lang, die übrigen prosenchymatisch, dazwischen mannigfache Abstufungen und Übergänge von solchen, die ganz spitz zulaufen und solchen, bei denen die Wände nur schräg gestellt sind. Die Länge dieser Zellen schwankt zwischen 200—300 μ. Hinsichtlich der Wandstruktur ist bei den Leitzellen folgendes zu erwähnen. Zwei Lamellen sind an jugendlichen Zellen zu unterscheiden: Die zwei Zellen gemeinsame Mittellamelle, die aus einer Zellulosegrundlage mit Pektinstoffeinlagerung besteht, und einer innern reinen Zelluloselamelle. Beide verholzen und legen Verdickungsschichten, die ebenfalls aus Holzstoffen bestehen, auf; zuweilen geht die Verdickung bis zum Schwund des Lumens. Die Verdickung beginnt nicht direkt in der Schicht, die sich am Sieb und Gefässteil ansetzt, sondern erst in der folgenden und schreitet zentripetal weiter; relativ spät erst werden dann auch die den Gefäss- und Siebelementen anliegenden Zellen verdickt. Fragt man nach dem Zweck dieser Verdickung mitten im Innern des Zentralzylinders, so kann dafür nicht die mechanische Festigkeit als einziger Erklärungsgrund angegeben und geltend gemacht werden. Umgeben ist ja der Zentralzylinder von einer starken Endodermis, den verdickten Perikambiumschichten, und diese beiden Gürtel würden doch sicher hinreichen, den nötigen radialen Druck der Wurzel auszuhalten oder die Zugkräfte, die an der Wurzel tätig sind, zu überwinden. *Sachs* sieht diese verholzten Gewebeschichten als Leitungsorgane für den Transpirationsstrom an, „während sie zugleich als biegungsfeste Massen von Nutzen sind“ (*Sachs*, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, 1887, S. 209). Aber nicht nur als Leitungsröhren für Wasser sind sie zu betrachten, sondern geradezu als Wasserspeicher. In diesem Sinne fasst sie *Volkens*[1]) auf, wenn er sagt: „Alle toten und dickwandigen Elemente innerhalb der Pflanzenleiber bilden in ihrer Gesamtheit ein Wasserreservoir.“

Sesleria coerulea.

Auf dem Würzburger Wellenkalk ist Sesleria eine häufige Erscheinung (vgl. *Kraus*, die Sesleriahalde. Aus der Pflanzenwelt Unterfrankens. Heft VIII, 1906), und man kann sie (neben Melica, Koeleria, Brachypodium) geradezu als Charakterpflanze desselben bezeichnen. Untersucht wurden Exemplare, die an exquisit trockenen Orten gewachsen waren, Exemplare aus den Mauerritzen der Ravensburg, der

[1]) *G. Volkens*, Beziehungen zwischen Standort und anatom. Bau der Vegetationsorgane. 1884. S. 43.

Halde des Volkenbergs, Saupürzels bei Karlstadt, der Retzbacher Höhen, des Main-Gestells. Sesleria findet sich nun nicht als einzelnes Pflänzchen, sondern zahlreiche Halme bilden ein kleines Rasenpolster. Die Wurzeln erscheinen dadurch mannigfach verflochten und verfilzt. Das scheinbar wirre, nestartige Geflecht, in dem Erdpartikelchen, Humusstücke verwoben sind, trägt dazu bei, Feuchtigkeit für die Pflanze zu sammeln und für die Zeiten der Not aufzuspeichern. Aus einem kürzeren Rhizom entspringen zahlreiche Wurzeln erster Ordnung; am Wurzelhals beträgt der Querdurchmesser nach Verlust der Rindenschichten 0,320—0,33 mm. Die Wurzeln behalten denselben ihrer ganzen Länge nach bis dahin, wo die Rindenschichten wieder erhalten bleiben; hier beträgt er 0,61 mm, und nimmt nach der Spitze allmählich ab. 1,5 mm von der Spitze beträgt er 0,32 mm.

Ältere Nebenwurzeln 1. Ordnung massen an ihrer Ursprungsstelle nach Abschilfung der Rinde 0,217 mm; 0,5 cm von der Spitze 0,104 mm. Nebenwurzeln 2. Ordnung waren an ihrem Wurzelhals 0,0975 mm stark und verjüngten sich nur sehr gering nach der Spitze. Die Verhältnisse der Epidermis und des Hypoderm sind im allgemeinen Teil behandelt. An das Hypoderm schliesst sich nach innen die Rinde an, die im Jugendzustande bei Triebwurzeln folgendermassen gebaut erscheint:

Eine Aussen- und Innenrinde ist nicht zu unterscheiden, sondern die Rinde erscheint einheitlich und besteht aus mehreren Zelllagen, deren Zahl je nach dem Standort zwischen 5 und 7 schwankt. Dieselben sind in Form von konzentrischen Kreisen strahlenförmig angeordnet. Die Zellen eines solchen Strahles sind in der Weise gebaut, dass die innerste Schicht die kleinsten Zellen bildet, dass diese dann nach aussen mit wechselndem Wurzeldurchmesser an Grösse und Umfang zunehmen, so dass genau eine Zelle über der andern liegt, manchmal bei Wurzeln von Sesleria der Ravensburg wurde das Bild dadurch etwas geändert, dass die Grössenzunahme bloss bis zur vierten Zelllage stattfindet; dann werden die Zellen der nächsten Zelllagen durch neueintretende Radialteilung in zwei gespalten. Durch unregelmässiges Wachstum in älteren Rindenpartien von einzelnen Zellen wird die Anordnung manchmal etwas gestört und das Bild etwas undeutlich. In Querschnitten, die 0,5 cm von der Spitze geführt wurden, erscheinen bei sämtlichen untersuchten Sesleriaarten die Zellen in lückenlosem Verbande, die Ecken und Kanten der einzelnen Zellen scharf ausgezogen; die Zellen selber sind polygonal etwas in tangentialer Richtung erstreckt. Die Grösse der Zellen ist

sehr variabel; durchschnittlich messen die der Endodermis anliegenden in radialer Richtung 15 μ, in tangentialer 26 μ; in der unter der Hypodermis liegenden Zellschicht die Zellen 35 μ in radialer, 42 μ in tangentialer. Dazwischen alle Übergänge. In den Zellen der Rinde tritt das Bestreben sich abzurunden hervor, und zwar beginnt es in der Zellenreihe unter der Hypodermis, setzt sich dann zentripetal bis zu der innersten oder zweitinnersten Rindenzelllage fort, dabei bilden naturgemäss sich Interzellularen bald von dreieckiger, bald viereckiger Form auf dem Querschnitt. Die innerste an die Endodermis grenzende Schicht ist stets durch den Mangel an Interzellularen ausgezeichnet. — Die Länge der Rindenzellen beträgt durchschnittlich 130 μ. Auf Längs- und Querwänden sind feine Porenkanäle vorhanden. Die Wände der Rindenzellen sind relativ dünn, gewöhnlich 0,9—1 μ stark, nur die Wände der zwei bis drei Zelllagen, die an die Endodermis grenzen, sind durch ihre Wanddicke ausgezeichnet. Die Verdickung beginnt in der unmittelbar an die Endodermis grenzende Schicht und setzt sich dann zentrifugal auf die nächste und häufig die zweitnächste fort. In der an die Endodermis grenzenden Schicht geht sie bei einzelnen Zellen fast bis zum Schwund des Lumens, so dass nur ein schmaler Spalt von dem Zelllumen zu sehen ist; dabei erscheint die Verdickung nicht zentrisch, d. h. nach allen Seiten gleichmässig, sondern die innere Tangentialwand und ein Teil der Radialwände werden mit den Verdickungsschichten bevorzugt.

Bei sämtlichen Rindenzellen ist deutlich eine Mittellamelle vorhanden, die bis zu 2 cm von der Spitze bei ausgewachsenen Wurzeln mit Chlorzinkjod keine deutliche Reaktion gibt, mit Rutheniumrot sich aber färbt, also aus Pektinstoffen besteht; die Innenlamelle gibt Zellulosereaktion. Beide erscheinen in höhern Regionen der Wurzel verholzt. Die Wände der der Endodermis anliegenden Rindenzellen, die schon durch ihre Wanddicke von den übrigen sich unterscheiden, zeigen auch ein anderes Verhalten Reagenzien gegenüber. Mit Chlorzinkjod erscheinen sie gelb gefärbt, mit Phloroglucin und Anilinhydrochlorat geben sie keine Reaktion; in H_2SO_4 lösen sie sich nicht, mit kalter Kalilauge werden sie gelb gefärbt, in heisser verseift; demnach erscheint ihre Wandung kutinisiert. Die Rindenzellen bleiben bei den Wurzeln von Sesleria bloss eine gewisse Zeit erhalten; bei 20 cm langen Triebwurzeln sah ich durchschnittlich in einer Entfernung von 10—12 cm von der Spitze den Zerfall der Rinde eintreten, bei andern später. Der gewöhnliche Vorgang beim Verlust der Rinde bei Sesleria besteht darin, dass die Epidermis zunächst

ausser Funktion tritt und abstirbt, Fetzen und Überreste bleiben zunächst noch an der Hypodermis haften. Dann beginnen in der 3. oder 4. Zelllage gewöhnlich über der Endodermis die Zellwände der Rindenzellen zu schrumpfen; sie werden wellig und die Zellen sind abgestorben. Das Sterben setzt sich nach beiden Seiten, innen und aussen, fort, und der Auflösungsprozess beginnt; bei den stark verdickten Zellen der innern Rinde macht er halt; doch habe ich Exemplare von der Ravensburg gesehen, bei denen durch die Einwirkung von humifizierenden Substanzen des Bodens selbst diese aufgelöst wurden, nachdem sie zuerst eine dunkle, beinahe schwarze Farbe angenommen hatten, und die Endodermis den Schutz des Zentralzylinders allein übernehmen musste. Ich habe oben erwähnt, dass bald ein bald zwei oder drei Zelllagen der innersten Rinde verdickt werden. Betrachten wir an der Hand von Messungen die Verdickungsschichten der verschiedenen Vertreter von Sesleria coerulea.

Standort	Anzahl der verdickten Zellen	Grösse der Rindenzellen		Stärke der Verdickungsschichten auf der	
				äusseren	inneren
		radial	tangential	Tangentialwand	
		μ	μ	μ	μ
Höhe Volkenberg	3	[1])1 = 7,5	1 = 18	1 = 2,5	1 = 4,5
		2 = 10,5	2 = 23	2 = 2,5	2 = 4,5
		3 = 12	3 = 35	3 = 1,4	3 = 4,5
Fuss Volkenberg	2	1 = 12	1 = 20	1 = } 2	1 = } 3
		2 = 15	2 = 21	2 = }	2 = }
Ravensburg Fuss des Berges	2—3	1 = 12	1 = 23	1 = }	1 = } 2,5
		2 = 15	2 = 24	2 = } 1,8	2 = }
		3 = 18	3 = 30	3 = }	3 = 2
Ravensburg Mauerritze	3	1 = 16	1 = 24	1 }	1 = }
		2 = 18	2 = 28	2 } = 4,5	2 = } 7
		3 = 23	3 = 33	3 }	3 = }
Saupürzel	2—3	1 = 18	1 = 25	1 = 2,7	1 = 4,2
		2 = 18	2 = 27	2 = 1,5	2 = 2,8
Retzbach	2	1 = 14,5	1 = 18	1 } = 2	1 = } 7
		2 = 15	2 = 20	2 }	2 = }
Maingestell	2	1 = 8	1 = 20	1 = 1,9	1 = 3,5
		2 = 10	2 = 21	2 = 1,5	2 = 3

[1]) 1 ist die der Endodermis anliegende, 2 und 3 die nach aussen sich anschliessenden Rindenzellen.

Bei dem Exemplar vom Saupürzel ist es mir aufgefallen, dass die der Endodermis anliegende Schicht sich teilweise durch Radial- oder auch Tangentialwände noch einmal teilt, so dass diese Zellschicht in ihren einzelnen Teilen sehr variiert; bald sieht man kleinere Zellen in radialer Richtung, bald solche in tangentialer zwischen den den grösseren erscheinen.

Was die Endodermis anbelangt bei Sesleria, so ist bei sämtlich untersuchten Arten die Form die gleiche, in radialer Richtung gestreckt; in den Grössenverhältnissen und den aufliegenden Verdickungsschichten bestehen jedoch Unterschiede. In allen untersuchten Wurzeln ist auch der Primär- und Sekundärzustand der Endodermis von sehr kurzer Dauer, der Tertiärzustand der bleibende. Bei alten Wurzeln dauert der Primiärzustand bis 1,2—1,3 cm von der Spitze, in einer Entfernung von 1,7 war der Sekundärzustand vollkommen entwickelt und bei 1,8 Spitzenabstand begannen die Tertiärlamellen sich aufzulagern. Bei Triebwurzeln sind die Zustände anders, aber sehr variabel, so dass es nicht möglich ist auch nur ungefähre Zahlenangaben darüber zu machen. Vergleicht man die Stärke der anfgelagerten Verdickungsschichten bei Pflanzen von verschiedenem Standort, so ergibt sich folgendes Bild:

Standort	Grösse der Endodermiszellen in radialer Richtung	Grösse der Endodermiszellen in tangential. Richtung	Verdickungsschicht: Aussenwand	Verdickungsschicht: Innenwand	Radialwand
	μ	μ	μ	μ	
Ravensburg	25	16	4	10	keilförmig
Volkenberg	21	15	3,7	6	„
Retzbach	35	15	3,5	12	„
Maingestell	22	14,5	3,0	7	„
Botan. Garten	18	14	2,9	7	„
Mauerritze der Ravensburg	30	14,5	3	8	„

Über die Bestandteile des Zentralzylinders ist relativ wenig noch zu sagen. Sämtliche Elemente desselben erscheinen im ausgebildeten Zustande stark verdickt fast bis zum Schwund des Lumens.

Sämtliche Zellen stehen in lückenlosem Verband und sind durch Tüpfelkanäle mit einander verbunden. Vergleicht man nur noch die Anzahl der Zentralgefässe und deren Lumen, so ergibt sich folgende Tabelle:

Standort	Durchmesser des Zentralzylinders	Anzahl d. Gefässe	Licht-Weite
	mm		μ
Volkenberg, Fuss	0,36	12	19
„ Höhe	0,320	14	18
Ravensburg	0,30	12	23
Retzbach	0,38	36	18
Saupürzel	0,29	12	20
Gestell	0,32	16	20
Botanischer Garten	0,315	16	20

Der Bau der Nebenwurzeln erster Ordnung ist mit dem eben beschriebenen übereinstimmend, bloss natürlich im verkleinerten Massstab; nur haben wir die Epidermiszellen zu zahlreichen Wurzelhaaren ausgewachsen. Anders dagegen sind die Nebenwurzeln zweiter Ordnung. Auch hier sind die Epidermiszellen zu Wurzelhaaren ausgewachsen und die einzelnen Zellen etwas in radialer Richtung gestreckt. Der Durchmesser der Epidermiszellen ist relativ gross, er beträgt in radialer 28 μ, in tangentialer Richtung 25 μ. Die Länge der Epidermiszellen 65 μ. Ein Hypoderm ist nicht vorhanden.

Die Rinde besteht aus drei Reihen von in tangentialer Richtung gestreckten polygonalen Zellen, die in Zickzackform angeordnet und in lückenlosem Verbande stehen. Die der Endodermis anliegende Zellschicht ist nicht verdickt. Die Zellen der Rinde sind gross; die Zellen der mittleren Schicht messen radial 17,5 μ, tangential 40,5 μ.

Die Wände der Endodermizzellen sind in fertig ausgebildeten Wurzeln gleichmässig verdickt, ihre Wandstärke beträgt 2—3 μ.

Der Zentralzylinder enthält nichts Auffallendes. Wir finden 3 fast gleiche grosse Gefässe, deren lichte Weite 5 μ beträgt, an der Peripherie angeordnet, von der Endodermis durch eine Zelllage getrennt. In der Mitte ist ein grösseres Zentralgefäss 9 μ. Die Leitzellen verdicken ihre Wände nicht, sondern diese sind 0,4—0,6 μ stark. Das Lumen der Zellen beträgt durchschnittlich 7 μ.

Stipa pennata.

Die untersuchten Exemplare stammen von den Retzbacher Höhen, vom Saupürzel bei Karlstadt, vom Krainberg, dem Rosstalberg, sowie aus dem botanischen Garten.

Einem ungegliederten, ziemlich kräftigen Rhizom entspringen eine grössere Anzahl dimorpher Wurzeln. Die einen sind bis 60 cm lang und mit verhältnismässig wenigen 10—12 cm langen Nebenwurzeln besetzt, sie haben ihre ganze Rinde fast verloren und sind 0,4 μ stark und als die Haftwurzeln κατ' ἐξοχήν aufzufassen, die die Pflanze im Boden verankern. Im Gegensatz zu ihnen stehen die Wurzeln zweiter Art, die bedeutend kürzer und stets von ihrer ganzen Rinde bedeckt sind. Sie besitzen eine grössere Zahl Nebenwurzeln, die ihrerseits zahllose Nebenwurzeln 2. O. tragen und an ihren Enden sich in Büschel von feinen Saugwürzelchen auflösen. Es ist also eine mehr oder weniger volle Arbeitsteilung in den Wurzeln eingetreten. Am Wurzelhals beträgt der Durchmesser der Wurzeln 2. Art 1,2 mm, der Nebenwurzeln 1. Ordnung 0,4 mm, 2. Ordnung 0,1 mm.

Ein anatomischer Unterschied zwischen den beiden Wurzelarten im Zentralzylinder ist nicht vorhanden, wie ihn *Tschirch*, dem das gleiche Phänomen bei zahlreichen Dikotylenwurzeln aufgefallen ist und das er als Heterorhizie bezeichnet, beschreibt. Epidermis und Hypodermis sind schon in dem allgemeinen Teil dieser Arbeit abgehandelt, und nichts ist über sie hier hinzuzufügen.

Bei der Rinde von Stipa kann man deutlich den Unterschied zwischen Aussen- und Innenrinde wahrnehmen. Die Aussenrinde besteht aus zwei bis drei Zellreihen, deren Teile lückenlos aneinander gefügt sind und in Zickzackform angeordnet erscheinen. Die einzelnen Zellen dieser Aussenrinde sind unter sich von gleicher Grösse und von gleicher Form. Sie besitzen gleiche tangentiale und radiale Ausdehnung auf dem Querschnitt und sind hexagonal. Mit den Zellen des Hypodermis erscheinen sie gleichsam verzahnt, indem zwei unter spitzem Winkel sich schneidende Zellenflächen der Aussenrindenzellen zwischen zwei Hypodermzellen sich einkeilen, so dass die Ecke der Aussenrindenzelle auf die zwei Hypodermzellen gemeinsame Radialwand trifft. Der tangentiale Durchmesser der Aussenrindenzellen beträgt 17,5, ihr radialer 20 μ. Ihre Länge 120 μ. Mit Chlorzinkjod färbt die Mittel- und Innenlamelle bei 4 cm Spitzenabstand sich gelb, mit Phloroglucin und Salzsäure rot; in Schnitte, die näher der Wurzelspitze geführt sind, färbt sich die Innenlamelle violett mit Chlorzinkjod, die Mittellamelle nicht deutlich. Die Wände der Aussenrinde sind unter sich alle gleich stark, bei 4 cm Spitzabstand beträgt die Wandstärke 0,9—1 μ. Bei älteren Wurzeln verdicken sich die Wände

1) *Tschirch*, Über Heterorhizie bei Dikotylen Flora, 94. Bd., 1905, S. 71.

noch etwas, wieviel, das sagt uns die Tabelle für die an verschiedenen Standorten gesammelten Exemplare.

Standort	Grösse		Wandstärke	Länge	Anzahl d. Aussenrindenschichten
	radial	tangential			
	μ	μ	μ	μ	
Retzbach	18	20	1,2	120	3
Saupürzel	16	22	1,3	120	2
Krainberg	15	21	1	115	3
Rosstalberg	15	21	1,7—2	115	4
Garten	15	20	1,2	112	2—3

Bei Stipa pennata besteht die Innenrinde aus zwei, wohl differenzierten Teilen. Die ganze Innenrinde ist aus 10—11 in Form von konzentrischen Kreisen angeordneten Zelllagen zusammengesetzt, die strahlenförmig angeordnet erscheinen; die Zellen der innern Rinde sind genau radiär; in der äussern Innenrinde dagegen sind nachträglich noch radiale Teilungen eingetreten, damit die Zellen nicht zu grosse Dimensionen annehmen; infolgedessen und auch weil einige Zellen ein unregelmässiges Wachstum zeigen, kommen in der äussern Innenrinde kleine Abweichungen von der strahlenförmigen Anordnung der Rinde vor.

Die äussern Zellen der Innenrinde haben bereits 4 cm hinter der Wurzelspitze ihre im Jugendzustand gehabte eckige Form verloren und eine mehr abgerundete Gestalt angenommen; es sind Interzellularen von viereckiger Form zwischen ihnen entstanden; die Zellen erscheinen auf dem Querschnitte rundlich bis elliptisch, ihr Durchmesser beträgt bei den grössten 53 μ, der mittlern durchnittlich 35 μ. Ihre Länge 70 μ. Wanddicke 0,8 μ. Die Lamellenstruktur: eine Mittellamelle aus Pektinstoffen bestehend, und eine innere Lamelle, die mit Chlorzinkjod sich bläut; später erscheinen beide Lamellen verholzt. Die innere Innenrinde hebt sich von der äussern deutlich ab durch die relative Kleinheit ihrer Zellen in radialer Richtung. Sie besteht aus drei bis vier konzentrischen Zelllagen; die eine Zelle auf dem Querschnitt genau vor die andre gelagert, infolgedessen die vordere in tangentialer Richtung stets etwas grösser als die vorhergehende ist. Die Zellen stehen untereinander in lückenlosem Verbande und sind stark verdickt. Die Verdickung ist nun in den einzelnen

Zelllagen nicht gleich, sondern die der Endodermis anliegende ist am stärksten verdickt, die sich daran nach aussen anschliessende weniger und allmählich gleicht sich so die Wanddicke der Zellen der äussern und innern Innenrinde aus. Die Verdickung selber ist exzentrisch, auf den inneren Tangentialwänden am stärksten. Mit zunehmendem Alter der Wurzel werden die Verdickungsschichten immer stärker, bei manchen bis zum Schwund des Lumens vide Tabelle. Die chemische Natur der die Verdickung bildenden Stoffe wird durch Phloroglucin und Salzsäure offenbar: es sind Holzstoffe.

Standort	Innere Rindenzellen					
	Anzahl	Grösse		Wandverdickung		
		radiale	tangent.	äussere	innere	radiale
		Richtung		Tangentialwand		
		μ	μ	μ	μ	
Krainberg	3	1 = 11,0	1 = 18	1 = 1,4	1 = 2,5	keilf.
		2 = 11	2 = 20	2 = 0,9	2 = 1,2	
		3 = 11,5	3 = 24,5	3 = 0,7	3 = 1	
Saupürzel	3	1 = 10	1 = 19	1 = 1,4	1 = 4,0	keilf.
		2 = 10	2 = 20	2 = 1,4	2 = 4,0	
		3 = 12	3 = 24	3 = 0,9	3 = 2,0	
Rosstalberg	1	12	20	1,48	1,48	1,48
Garten	3	1 = 9	1 = 19	1 = 1,4	1 = 3	keilf.
		2 = 10	2 = 20	2 = 1,4	2 = 2,5	
		3 = 12	3 = 22	3 = 1,4	3 = 1,45	
Retzbach	3	1 = 10	1 = 20	1 = 1,5	1 = 7	keilf.
		2 = 10	2 = 21,5	2 = 1,5	2 = 6	
		3 = 12	3 = 30	3 = 1,0	3 = 2,9	

Gleichzeitig mit der Verdickung der innern Innenrinde treten auch in der äussern Änderungen ein. Die zwischen den Zellen vorhandenen Interzellularen erweitern sich zu Spalten an zahlreichen Stellen in der Mitte der Innenrinde: die Spalten schreiten zuerst zentripetal bis zu den verdickten innern Innenrindenzellen und dann auch zentrifugal bis zur Aussenrinde vor. Hat nun einmal die Spaltung eingesetzt, so greift das Auseinanderweichen der Zellen immer mehr um sich, dabei werden aber nicht bloss die Zellwände voneinander getrennt, es verschwinden ganze Zellreihen und nur einzelne radiale Verdickungsstreifen zwischen Aussen- und Innenrinde bleiben erhalten, ein Rindentypus wie ihn *Klinge* als IIa bezeichnet.

In den meisten Fällen geht nun die Zerreissung in der äussern Innenrinde soweit, dass selbst die verbindende Stränge gelöst werden und der Zentralzylinder der Wurzel in einer nicht mehr mit ihm zusammenhängenden Röhre steckt.

Auch in diesem Zustand noch, in dieser Röhrenform, dient das äussere Rindengewebe der Wurzel als Schutzorgan, indem es wie ein weiter Mantel wirkt: mechanischen Druck hemmend und ungünstige Witterungseinflüsse mildernd.

Die Endodermiszellen sind in radialer Richtung gestreckt und im Tertiärzustand uförmig verdickt. Die Verdickungsschichten werden auf den inneren Tangentialwänden und den Radialwänden in verschiedener Weise angelegt und bald werden die ganzen Radialwände, bald nur ein Teil derselben mit Verdickungsschichten versehen. Das freie Lumen der Endodermiszelle gleicht daher bald genau einem gleichseitigen Dreieck, bald einem Kreisabschnitt, wobei die Sehne des Kreises von der äusseren Tangentialwand gebildet. — Die Verdickungsschichten selber verändern in alten Wurzeln ihre chemische Zusammensetzung; sie geben nicht mehr die Phlorogluzinreaktion wie im Jugendzustand, sondern nehmen keine Färbung mehr an und erscheinen stark lichtbrechend. Ihre Dicke beträgt bei den diversen untersuchten Exemplaren:

Standort	Endodermis				
	Grösse der Zellen in		Dicke der Wände		
	radialer Richtung μ	tangentialer Richtung μ	äussere Tangentialw. μ	innere Tangentialw. μ	Radialwand
Krainberg	22	15	1,5	8,8	keilförmig
Retzbach	22,4	18	1,48	16	„
Saupürzel	21	16	1,48	9	„
Irisstandort	20	14	1,5	8,8	„
Garten	21	18	1,46	10	„

Vom Zentralzylinder ist bei Stipa pennata nichts Besonders zu sagen. Die einzelnen Zellen sind alle stark verdickt; die Anzahl der vorhandenen Zentralgefässe schwankt zwischen 10—12, deren lichte Weite durchschnittlich 25—30 μ. Stipa capillata stimmt im Wurzelbau mit dem von Stipa pennata vollkommen überein.

Der Bau der Nebenwurzeln I. O. ist vollkommen übereinstimmend mit dem der Haftwurzeln; es ist gleichsam ihr verkleinertes Bild. Anders allerdings, vereinfachter sind die Nebenwurzeln 2. O. gebaut. Nach aussen schliesst sie eine Epidermis ab, deren Zellen in tangentialer Richtung 17,5 μ, in radialer 14 μ messen. Die äussere Wand derselben ist 1 μ, die innere 0,7 μ stark. Zahlreiche Wurzelhaare, deren Länge 122 μ beträgt, die am Fusse 10 μ, an der Spitze 3,5 μ messen und deren Wand 0,8 μ dick ist, bedecken die Wurzel. Lamellenstruktur der Epidermiszell-Wurzelhaarwände genau wie bei der Wurzel 1. O.

War schon die Epidermis der Nebenwurzel anders gestaltet wie die der Haft- und Triebwurzel, so treten grössere Verschiedenheiten und Unterschiede im Bau der Rinde zutage. Eine Aussen- und Innenrinde ist hier nicht zu unterscheiden. Die Art der Anordnung ist auch nicht mehr die strahlenförmige, sondern die Zickzackform, eine Form, bei der an eine tangentiale Aussenwand zwei andere Rindenzellen stossen und dadurch den Saftverkehr zwischen den einzelnen Zellen erleichtern. Die Zellen selber sind polygonal und ohne Interzellularen aneinandergereiht. Ihre Grösse beträgt durchschnittlich radial 21 μ, tangential 28 μ. Wandstärke 0,8 μ. Nur die vierte, der Endodermis anliegende Zelle ist etwas abgeflacht und hat gleichzeitig ihre Wände bis 2 μ verdickt. Die Endodermis zeigt im fertig ausgebildeten Zustande die u-förmige Verdickung.

Im Zentralzylinder liegen 3—4 Protoxylemelemente, die 5 μ lichte Weite besitzen und direkt an die Endodermis angrenzen. Ein grösseres Zentralgefäss 9 μ weit liegt genau in der Mitte des von Leitzellen eingenommenen Raumes. Die Leitzellen selber haben unverdickte Wände und einen Querdurchmesser von 7 μ.

Melica ciliata.

Melica ciliata ist eine Graminee, die an den trockensten Stellen gedeiht und diese als ihre Lieblingsplätze bevorzugt. In den Ritzen von Weinbergmauern, auf dem steinigsten Geröll unseres Wellenkalks findet sie sich. Auch sie bildet wie Sesleria kleine Rasenpolster und ein wirres Wurzelgeflecht mit den eingewobenen Humus- und Erdpartikelchen, gleichsam ein Wasserreservoir. Dem kurzen 4 cm langen Rhizom entspringen zahlreiche dünne Wurzeln; am Wurzelhals nach Verlust der Rinde beträgt ihr Querdurchmesser 0,38 mm. Der Querdurchmesser der Nebenwurzeln 1. Ordnung am Wurzelhals ohne

Rinde 0,087 mm mit Rinde 0,2 mm, der Nebenwurzeln II. Ordnung 0,08—0,069 mm. Aufgefallen ist mir bei Melica die grosse Zahl von Nebenwurzeln I. und II. Ordnung, die wie ein feinmaschiges Netz den Boden gleichsam durchspinnen.

Die Epidermis ist beschrieben, ein Hypoderm nicht vorhanden. Bei Melica ist zwischen Aussen- und Innenrinde zu unterscheiden. Die Aussenrinde ist bloss eine Zellschicht stark. Sind die Zellen der Epidermis in radialer Richtung gestreckt, so sind die der Aussenrinde es in tangentialer. Sie sind so an die Epidermis angeordnet, dass eine Aussenrindenzelle auf die Mitte der Hintenwände zweier, häufig dreier angrenzenden Epidermiszellen trifft. Die Zellen selber sind polygonal mit scharfen ausgezogenen Ecken und Kanten. Ihr radialer Durchmesser beträgt 16,2, ihr tangentialer 28,1 μ. Zum Unterschiede von der Aussenrinde zeichnet sich die Innenrinde durch kleine dreieckige Interzellularen aus und die mehr abgerundete Form ihrer Zellen. Sie besteht aus 4—5 Reihen von Zellen, die in ihrem Jugendzustand hexagonal, später abgerundet erscheinen; sie sind in Form von konzentrischen Kreisen mehr oder weniger strahlenförmig angeordnet und lassen deutlich die Art ihrer Entstehung durch tangentiale Teilung erkennen. Hinsichtlich ihrer Grösse variieren sie sehr. Sie nehmen etwa bis zur Mitte der Rinde, von aussen angefangen, an Grösse zu. Der radiale Durchmesser beträgt 18 μ, der tangentiale 35 μ; dann aber nehmen sie allmählich wieder ab, dabei ist es bloss der radiale Durchmesser, der kleiner wird, der tangentiale bleibt ungefähr der gleiche. Der radiale Durchmesser der innersten Rindenschicht beträgt 12 μ. Die Länge der Rindenzelle ist ungefähr 165 μ; die Querwände sind gerade gestellt und wie die Längswände mit zahlreichen Tüpfeln versehen. Die Lamellenstruktur der Innen- und Aussenrinde ist die gleiche. Auf der Mittellamelle, die da, wo mehrere Zellen zusammenstossen, Zwickel bildet und sich mit Ruthenium rot färbt, liegt noch eine feine, mit Chlorzinkjod sich bläuende Lamelle, deren chemische Natur mit dem Alter sich verändert und verholzt erscheint. Die Wanddicke der Zellen in der ganzen Rinde beträgt 0,7 μ.

Was die Änderungen, die in den älteren Wurzeln und in den Rindenschichten vor sich gehen, anbelangt, so verhalten sich alle untersuchten Arten gleich. Die Rinde mit der Epidermis und einem Teil der Wurzelhaare bleibt relativ lange erhalten, allerdings in abgestorbenem Zustande und lediglich als Mantel um den Zentralzylinder. Zu dieser Funktion macht sie die vorher erwähnte Verholzung der

Innenlamelle geeignet, neben der Verholzung findet sich bei einigen Exemplaren, z. B. denen vom Volkenberg, diese Lamelle verkorkt. Die Verkorkung fand ich nun nicht regelmässig an bestimmten Stellen des Querschnittes beginnend; meistens allerdings zeigt die Aussenrinde die verkorkte Lamelle, zuweilen aber sah ich die äusserste Schicht der Innenrinde verkorkt erscheinen. Die Verkorkung setzte sich dann auch noch auf die nächst anliegende Zelllage nach innen fort. — Bei alten Wurzeln war die ganze Rinde bis auf die Endodermis zerstört. Das Zerstörungswerk in der Rinde geht in der Weise vor sich, dass eine Rindenschicht nach der anderen gleichsam abblättert. Die Endodermis übernimmt dann die Funktion des Schutzes nach aussen.

Die Auflagerung der Tertiärschichten in der Endodermis findet bei Melica in auffallender Weise statt. Diese werden in Form von zwei Mondsicheln auf die beiden Tangentialwände geschichtet; die Radialwände erscheinen dadurch in Form eines Doppelkeils. Die Endodermiszellen selber sind hexagonal, meistens etwas in tangentialer Richtung gestreckt. Die Tabelle gibt Aufschluss über die Grösse der Zellen und die Stärke der Wandverdickungen bei den verschiedenen untersuchten Exemplaren.

Standort	Grösse der Endodermis in		Wandverdickung auf der	
	radialer Richtung	tangentialer Richtung	äusseren Tangentialw.	inneren Tangentialw.
	μ	μ	μ	μ
Volkenberg zwischen Geröll	18,5	24	2,9	2,0
Retzbach auf Geröll	14	28	2,9	2,9
Steinberg auf Geröll	16	26	3,5	3,1
Saupürzel	16	24	3,0	2,9
Veitshöchheim in einer Weinbergmauer	17	23	2,6	2,52
Höhe 210 vor dem Gadheimer Wald auf Geröll	18	25	3,0	3
Botanischer Garten	22	25	3	3

Erwähnt war schon, dass die chemische Zusammensetzung der Verdickungsschichten bei Melica eine verschiedene auf der äusseren und inneren Tangentialwand ist. Die erstere ist kutinisiert, die

letztere verholzt. Zu der Funktion des Schutzes nach aussen tritt bei der Endodermis von Melica wenigstens bei denen, die auf dem Steinberg und bei Retzbach gewachsen sind, die nahrungsspeichernde hinzu. Die Zellen sind prall mit zahlreichen 1—2 μ grossen Stärkekörnchen erfüllt.

Bei Melica ciliata sind keine verdickten Rindenzellen vorhanden, die die Endodermis in ihrer schützenden Funktion unterstützen können, daher müssen zum Ersatz die peripheren Schichten des Zentralzylinders besonders stark verdickt werden. Das ist in der Tat der Fall bei den Perikambium- und den ihnen völlig gleichgestalteten anliegenden Zellen. Sind die Perikambiumzellen stark in radialer Richtung gestreckt, so erscheinen die tangentialen Wände stärker verdickt als die radialen, bei den meisten Perikambiumzellen und allen anliegenden Zellen ist die Verdickung eine gleichmässige und beträgt durchschnittlich 2,2—2,3 μ.

Auch die Siebteile und alle übrigen Leitzellen erscheinen bei alten Wurzeln stark verdickt und verholzt.

Die Anzahl der Zentralgefässe schwankt bei allen untersuchten Vertretern von Melica 8—10, ihre lichte Weite 25—28 μ.

Die schwächeren Nebenwurzeln I. Ordnung sowie die II. Ordnung zeigen einen übereinstimmenden Bau. Bei einer Nebenwurzel I. Ordnung, deren Durchmesser auf dem Querschnitte 0,23 mm, ist der Zentralzylinder 73,5 μ, die Rindenpartie dagegen 164,5 μ gross. Dies Überwiegen der Rindenzellen gegenüber dem Zentralzylinder habe ich bei allen Nebenwurzeln, auch den der übrigen untersuchten Gramineen, immer wieder gefunden.

Die Epidermiszellen sind in radialer Richtung gestreckt (radial = 14 μ, tangent = 12 μ) und zu zahlreichen Wurzelhaaren ausgewachsen. Die Rindenzellen sind ohne Interzellularen in Zickzackform angeordnet und in tangentialer Richtung gestreckt; sie erscheinen bei dem kleinen Wurzelumfang gross; in tangentialer Richtung messen sie 24,5, in radialer 17,5 μ. Ihre Wandstärke beträgt 0,8 μ; ihre chemische Struktur mit der Wurzel I Ordnung übereinstimmend.

Die Endodermis bei Nebenwurzeln ist u-förmig verdickt; die Verdickungsschichten geben die Holzreaktion.

4 Protoxylemgefässe, die in Kreuzform angeordnet zu zweien hintereinander liegen, ohne Perikambium gleich an die Endodermis grenzen. Die lichte Weite der Gefässe beträgt 3,9 μ. Daneben noch zwei grössere Zentralgefässe, deren lichte Weite 20 μ beträgt. Das

ganze übrige Gewebe des Zentralzylinders wird von den Leitzellen eingenommen, die ihre Zellwände verholzen, aber wenig verdicken.

Koeleria cristata.

Während Melica, Sesleria stets Polster bilden, aus denen eine grössere Anzahl Halme emporwachsen, ist bei Koeleria dieser Rasenbusch klein. — Dem kurzen, ungegliederten Rhizom entspringen zahlreiche Wurzeln I. Ordnung, die am Wurzelhals einen Querschnitt von 0,85—1 mm haben. Der Querdurchmesser einer grösseren Nebenwurzel betrug an der Ursprungsstelle 0,38 m, an der feineren 0,2 mm; der einer Nebenwurzel II. Ordnung 0,09 μ. Die Nebenwurzeln I. Ordnung beginnen in einer Entfernung von 1,5 cm von der Spitze zu entspringen, bei den Nebenwurzeln I. Ordnung bei 1,2 cm Spitzenabstand entstehen die Nebenwurzeln II. Ordnung.

Epidermis schon abgehandelt.

Bei Koeleria haben wir bei der Rinde eine Aussen- und Innenrinde zu unterscheiden. Die Aussenrinde ist einschichtig, ihre Zellen penta- oder hexagonal mit scharf ausgezogenen Kanten und Ecken und so angeordnet, dass 2 Epidermiszellen auf eine Aussenrindenschicht treffen.

Ihr tangentialer Durchmesser schwankt zwischen 31—38 μ; ihr radialer zwischen 18—30 μ. Länge der Zellen 200 μ. Zwischen diesen grösseren Zellen sind einzelne kleinere eingelagert. Die Dicke der Zellwände variiert mit dem Standort. Im allgemeinen schwanken die Zahlen zwischen 0,7—1 μ. Zwei Lamellen bilden die Zellwand, beide erscheinen in ausgewachsenen Wurzeln verholzt.

Die Innenrinde besteht aus 4—6 Lagen von Zellen, die in radialen Reihen übereinander liegen. Bei einer Entfernung von 0,5 cm Spitzenabstand erscheinen sie im lückenlosen Verbande, strahlenförmig angeordnet. Bereits in einer Entfernung von 0,8 cm Spitzenabstand runden die Zellen ihre Ecken ab, nehmen kreisrunde bis elliptische Gestalt an, und es entstehen zwischen ihnen kleine Interzellularen. Gleichzeitig wird die strahlenförmige Anordnung der Zellen etwas verschoben und die Zellen erscheinen jetzt mehr in Zickzackform angeordnet. Der Durchmesser der Rindenzellen beträgt in tangentialer Richtung 31 μ, in radialer 18 μ; häufig sind aber auch die Zellen radial grösser als tangential, dann gelten die Zahlen umgekehrt. Die Länge der Rindenzellen schwankt zwischen 150—180 μ; die Querwände sind gerade gestellt und wie die Längswände mit zahlreichen

Tüpfeln versehen. Die Wandstärke der Rindenzellen beträgt durchschnittlich 0,8 μ. Nach innen zu nimmt der radiale Durchmesser der einzelnen Zellen ab, allmählich sinkt er bis auf 7 μ in der der Endodermis anliegenden Zellreihe. Der chemische Aufbau der Zellen ist bei denen der Innenrinde der gleiche wie bei der Aussenrinde. Verdickungsschichten werden in den an die Endodermis grenzenden 2—3 Rindenzelllagen aufgelagert, bestehend aus Holzstoffen, die die Phlorogluzinreaktion geben. Die Verdickungsschichten sind gleichmässig auf allen Wänden verteilt.

Alle Koeleriawurzeln zeigen in ihrem Jugendzustand den oben beschriebenen Bau mehr oder weniger genau, mögen sie gewachsen sein, wo sie wollen. Unterschiede treten zu Tage, wenn die Wurzeln älter werden, und sie zeigen dann je nach dem Standort verschiedene Ausbildung. Zunächst ändert sich das äussere Aussehen der Wurzel. Triebwurzeln sind mehr oder weniger weisslich, ältere gelb bis rotbraun. Die Substanz, die den Wurzeln das veränderte Aussehen gibt, wird in die innerste Lamellenschicht der Rindenzellen eingelagert. Diese Infiltration findet bei allen Rindenzellen bis zur Endodermis statt, die aber nur hellgelb gefärbt erscheint. Die infiltrierten Stoffe selber lassen sich aus den Membranen mit Eau de Javelle entfernen; es lag nahe bei ihnen, an Gerbstoff zu denken, doch blieben alle diesbezüglichen Reaktionen mit Ferrosulfat, Ferrichlorid, Kaliumbichromat aus.

Bei sämtlichen Koeleriaarten verlieren die Epidermiszellen ihre Turgeszenz, die Querwände erscheinen auf dem Querschnitt mehr oder weniger gewellt, häufig zusammengefaltet, wie der Balg einer Ziehharmonika. Meistens wird die ganze Epidermis abgeschilfert und nur einzelne Reste sind vorhanden. Nur bei einem Exemplar, das auf einer Wiese bei Thüngersheim gewachsen war, war die Epidermis fast durchgängig intakt. Auch die Rindenzellen sind bei Koeleriawurzeln im ältern Zustand tote Gewebe, die als deckende Mäntel den Zentralzylinder schützen; doch verhalten sich die einzelnen Rindenzellgewebe je nach dem Standorte der Pflanze verschieden. Vollkommen erhalten fand ich die Rinde bei dem eben genannten Wiesenexemplar und ferner bei einem, das in ein Felsritze auf den Retzbacher Kalkfelsen gewachsen war: hier betrug aber die Wandstärke der Rindenzellen 1,45 μ, während sie bei allen übrigen bloss 0,8 μ stark ist. Bei den übrigen Koelerias fingen in der dritten oder vierten Schicht über der Epidermis die vorhandenen Interzellularen an sich zu erweitern, einzelne Zellen werden dabei zerstört: es bilden

sich Lakunen; derartige Bilder zeigten mir Exemplare, die am Fusse und auf der Höhe des Volkenbergs, auf dem Saupürzel gewachsen waren. Bei der Lakunenbildung bleiben aber die meisten Koeleria nicht stehen. Die Lakunen werden grösser, der Auflösungsprozess greift um sich; drei bis vier Zelllagen nach innen werden in ihn hineingezogen, und es bleiben vereinzelt radiale Zellfäden — durchschnittlich sind es drei bis fünf — erhalten, die die Brücke zwischen den zwei äussern und den innern Zelllagen herstelleu, also ein Rindentypus, wie ihn *Klinge* als Typus IIa bezeichnet. Derartige Bilder gaben Koeleriapflanzen, die auf der Höhe 210 vor dem Gadheimerwald auf Geröll gewachsen waren. — In anderen Fällen wird selbst diese zarte Verbindung zwischen äussern und innern Rindenzellen zerstört, so dass der innere Teil von einer toten und nicht mehr mit ihm in Verbindung befindlichen Schicht begrenzt wird. Die Wurzeln stecken dann in dieser Hülle, wie das Bein in einer Hose, um einen trivialen Vergleich zu gebrauchen.

Die Anzahl der um den Zentralzylinder vorhandenen Zelllagen und die Stärke der Verdickungsschichten ergibt sich aus folgender Tabelle:

Standort	Zahl der verdickten Zellen	Grösse		Stärke der Verdickungsschicht
		radial	tangential	
		μ	μ	μ
Wiese bei Thüngersheim	3	1[1]) = 7	1 = 17	2,1
		2 = 11,5	2 = 18	2,1
		3 = 17	3 = 22	2,0
Botan. Garten	4	1 = 6	1 = 12	2,5
		2 = 7	2 = 13	2,5
		3 = 8	3 = 14,5	2,25
		7 = 9	4 = 16	2,25
Fuss des Volkenbergs	3	1 = 11,5	1 = 26	1 = 2,9
		2 = 14	2 = 30	2 = 2,9
		3 = 22	3 = 35	3 = 2,2
Höhe des Volkenbergs	2	1 = 14,5	1 = 22	1 = 3
		2 = 14,5	2 = 23	2 = 3
Höhe 210 vor Gadheim	2	1 = 14	1 = 18	1 = 3
		2 = 18	2 = 20	2 = 3

1) 1 bedeutet die der Epidermis anliegende Zelle, 2 und 3 die sich nach aussen anschliessenden.

Standort	Zahl der verdickten Zellen	Grösse		Stärke der Verdickungsschicht
		radial	tangential	
		μ	μ	μ
Steinberg	4	1 = 11	1 = 14	1 = 3,9
		2 = 11	2 = 15	2 = 3,9
		3 = 12,5	3 = 17	3 = 3,4
		4 = 15	4 = 21	4 = 2,9
Saupürzel	3	1 = 11,5	1 = 19	1 = 3,5
		2 = 11,5	2 = 20	2 = 2,91
		3 = 12	3 = 22	3 = 2,6
Retzbach	2	1 = 7	1 = 18	1 = 2
		2 = 10	2 = 24	2 = 2
Thüngersheim, auf Buntsandsteinfelsen	3	1 = 7	1 = 22	1 = 3,4
		2 = 10	2 = 24	2 = 3,4
		3 = 14	3 = 30	3 = 3

Die Endodermis ist bei allen Koeleriaarten u-förmig verdickt. Die Verdickungsschichten betragen folgende Werte:

Standort	Grösse der Endodermzellen		Verdickungsschichten		
	tangent.	radial	äussere Tangent.-Wand	innere Tangent.-Wand	Radialw.
	μ	μ	μ	μ	
Wiese bei Thüngersheim	17	16	1,4	6,0	keilförmig
Garten	15	14,5	1,45	4,5	„
Fuss Volkenberg	17,5	17,5	1,6	7	„
Höhe Volkenberg	18	16	1,6	6,5	„
Höhe 210	20	18	2	7,5	„
Steinberg	21	15	1,5	8	„
Saupürzel	18	18	1,8	7	„
Retzbach	19	17	1,4	7	„
Thüngersheim, auf Buntsandsteinfelsen	18	18	1,4	6	„

Der Zentralzylinder ist bei sämtlichen Koelerien gleich gebaut, sämtliche Teile desselben sind von den Perikambiumzellen angefangen bis zu den innersten Leitzellen stark verdickt. Die Weite und Anzahl der Zentralgefässe schwankt bei Koeleria in engen Grenzen.

Standort	Durchmesser des Centralzylinders mm	Anzahl der Centralgefässe	Lichte Weite der Gefässe μ
Wiese bei Thüngersheim	0,227	12	22
Botanischer Garten	0,27	15	18
Fuss Volkenberg	0,23	10	21
Höhe Volkenberg	0,23	10	25
Höhe 210	0,25	12	24,5
Steinberg	0,28	15	28
Saupürzel	0,245	10	30
Retzbach	0,29	13	28
Buntsandstein-Felsen bei Thüngersheim	0,22	14	22

Die Dicke, d. h. der Querdurchmesser einer Nebenwurzel beträgt bei Koeleria 0,245 mm; davon entfallen 0,17 mm auf die Rinde und 0,075 mm auf den Zentralzylinder; das Verhältnis der Rinde zum Zentralzylinder ist ungefähr 2:1. Die Epidermiszellen sind gross, in tangentialer Richtung 31 μ, in radialer 17,5 μ. Die Wandstärke beträgt aussen 1,45, innen 0,7 μ.

Die Anordnung der Rinde ist ausgesprochen zickzackförmig; die Rinde selber besteht aus vier Zelllagen; die ohne Interzellularen aneinander grenzen und von aussen nach innen an Grösse allmählich abnehmen. Die Form der einzelnen Zelle ist polygonal, in tangentialer Richtung gestreckt. Die Grösse der äussern Rindenzelle in radialer Richtung 30 μ, in tangentialer 36 μ, der der Endodermis anliegenden in radialer 7,5 μ, in tangentialer 22,5, dazwischen alle Übergänge. Die Zellwandstärke beträgt 0,9 μ, nur die der Endodermis anliegenden Zellen beträgt auf allen Seiten der Wand 1,7 μ. Chemische Struktur der Wände genau wie bei den Triebwurzeln.

Die Endodermis ist isodiametrisch gebaut und zeigt μ-förmige Verdickungsschichten. Die innere Wandverdickung beträgt 4 μ, die äussere 1 μ bei einem Durchmesser der Zelle von 16 μ. Im Zentralzylinder finden sich vier in Kreuzform angeordnete Protoxylemelemente, die einzeln durch eine oder keine Perikambiumschicht an seiner Peripherie angeordnet sind. Ihre lichte Weite beträgt 4,5 μ. In der Mitte liegt noch ein grösseres Zentralgefäss, dessen lichte Weite

18 μ beträgt. Die Siebelemente sind durch relative Grösse in den Nebenwurzeln von Koeleria auffallend und bestehen aus fünf Zellen in der bekannten Anordnung. Die rhombische Zelle ist 4,5 μ, die Flankenzellen je 5 μ, die innerste Zelle 7 μ.

Leitzellen füllen den übrigen Teil des Zentralzylinders; ihre Durchschnittsgrösse beträgt bei gleichem tangentialen und radialen Durchmesser 11 μ. Ihre Wände sind 0,8 μ stark und geben Zelluloseraktion.

Phleum Böhmeri.

Phleum Böhmeri bildet kleine Rasenpolster, die sich auf den Kalkbergen häufig finden. Im Gegensatz zu den meisten untersuchten Gramineen bildet es relativ kurze Wurzeln, die am Wurzelhals 0,7—0,8 mm auf dem Querschnitt messen. Die Dicke der Nebenwurzeln erster Ordnung beträgt 0,1—0,3 mm, die 2-O sind haarförmig dünn, 0,08 mm dick. Die Epidermiszellen bleiben infolge der Verholzung der innern Lamelle relativ lange erhalten. Das Hypoderm wird bei Triebwurzeln erst in Entfernung von 12 cm von der Spitze fertig ausgebildet, bei älteren Haftwurzeln fand ich es schon im Abstand 3—5 cm im Sekundärzustand.

Die Aussenrinde besteht aus zwei interstitienlos aneinanderliegender Reihen polygonaler Zellen; durchschnittlich sind sie gleich gross, in radialer Richtung 24,5 μ, in tangentialer 25 μ. Die Wandstärke bei Triebwurzeln 10—12 cm, von der Spitze auf den Radialwänden 1 μ, auf den Tangentialwänden 1,4 μ. Die Wände erscheinen verholzt; sie färben Phloroglucin und HCl rot, Anilinhydrochlorat gelb, bei ganz alten Wurzeln erscheinen sie sogar verkorkt und man kann folgende Schichtungen an denselben erkennen: Eine zwei Zellen gemeinsame verholzte Zone 0,3 μ stark, dann die verkorkte Lamelle 0,5 dick und schliesslich die innerste, ebenfalls verholzte Schicht, 0,5 μ stark. Die Länge der Aussenrindenzellen beträgt durchschnittlich 245 μ.

Die Innenrinde besteht aus 8—9 Reihen von Zellen, die 3—4 innern genau radial strahlenförmig angeordnet, die äussern durch Streckung, radiale Teilung aus der strahlenförmigen Anordnung mehr oder weniger verschoben. Die Grösse der Zellen nimmt von aussen nach innen durch 2—3 Zelllagen hindurch zu, fällt aber dann wieder, so dass die Zellen, die der Endodermis anliegen, als die kleinsten erscheinen. Interzellularen in der Gestalt kleiner Dreiecke

finden sich zwischen drei zusammenstossenden Zellen, nur die beiden der Endodermis angrenzenden sind frei davon. Die beiden zuweilen, die sich nach aussen noch anschliessende, unterscheiden sich ausserdem noch von den übrigen neben ihrer geringen Grösse durch die Stärke der Wände. Während diese durchschnittlich 0,9 μ dicke Wände besitzen, beträgt die Wandstärke bei jenen durchschnittlich 2 μ. Bei 6,5 cm Spitzenabstend erscheinen die Wände sämtlich mit Chlorzinkjod violett, später verholzt. Ausserdem wird in innern Lamellen ein brauner Stoff eingelagert, der die Innenlamelle gelb färbt, die Phloroglucin reaction tritt aber trotz dieser Infiltration, wenn auch etwas verwaschen, ein. Wie verhält sich die Rinde bei alten Wurzeln? In der zweiten oder dritten Zellschicht lösen sich die Zellen von den übrigen los, sie verschwinden. Der Zentralzylinder mit den innern Rindenzellen bildet gleichsam eine Insel, die von der Aussenrinde und Hypodermis umgeben wird, getrennt aber durch einen Hohlraum. Bei dem aussen liegenden Gewebe werden die Wände mehr oder weniger zusammengepresst, doch bleiben sie als toter Mantel erhalten. Die Schleimmasse, die sich von der Epidermis aussen befindet, verklebt sich mit den Bodenteilchen zu einer festen Röhre, die den Zentralzylinder luftdicht nach aussen abschliesst. Die Zellen der innern Rinde gehen allmählich verloren, sie blättern sozusagen langsam ab, eine nach der andern, bis auf die Endodermis. Die Endodermis zeigt bei ältern Wurzeln schon bei 2 cm Spitzenabstand der Tertiärzustand, bei Triebwurzeln war er sehr bei den einzelnen verschieden spät ausgebildet. Im Tertiärzustand beträgt die Wandstärke von allen Wänden gleichmästig 4,5 μ. Die Tertiärschichten färben sich mit Phloroglucin nur schwach rosa, so erscheinen sie stark lichtbrechend. Die Länge der Zellen beträgt durchschnittlich 157 μ; die Querwände auf dem Längsschnitt erscheinen schräg gestellt. Auf dem Querschnitt messen die Zellen der Endodermis radial = 17 μ, tangential 18 μ.

Der Zentralzylinder zeigt nichts Auffallendes bei Phleum. Bei den Perikambiumschichten, deren Wände sich durch grosses Lichtbrechungsvermögen auszeichnen, betragen die Verdickungsschichten auf den Radialwänden bloss 1,45 μ, auf den Tangentialwänden durchschnittlich 2,5 μ.

Die Anzahl der Zentralgefässe schwankt bei den verschiedenen Exemplaren zwischen 12—15 μ, die lichte Weite derselben beträgt durchschnittlich 27 μ.

Die Leitzellen besitzen bei einer Grösse von 12—15 μ auf dem Querschnitte eine Wandstärke von 1,5 μ.

Die Nebenwurzel erster Ordnung besitzt am Wurzelhals einen Durchmesser von 0,4 mm. Die Epidermis ist wie bei der Triebwurzel gebaut, ein Hypoderm nicht vorhanden. Die Rinde besteht 4—5 Zelllagen polygonaler Zellen, die durchschnittlich gleich gross sind, in tangentialer Richtung etwas gestreckt und in Zickzackform angeordnet erscheinen. Zwischen den einzelnen Zellen sind kleine Interzellularen. Die einzelnen Zellen fallen durch ihre relative Grösse auf: im Mittel 35 μ radial, 29 μ tangential; nur die der Endodermis anliegende Zellschicht ist kleiner und abgeflacht, radial 10 μ, tangential 26 μ.

Die Wandstärke der Rindenzellen beträgt 0,9 μ; die der Endodermis anliegende Zellschicht besitzt eine solche von 1,7 μ. Alle Rindenzellen geben Zellulosereaktion.

Die Endodermis ist genau gebaut wie bei der Haftwurzel; auch im Zentralzylinder finden sich wenige Unterschiede. Das Protoxylem, das aus zwei gleichen Gefässen besteht, ist durch zwei auffallend kleine verdickte Zellen von der Endodermis getrennt. Anzahl der Protoxylemelemente 12; lichte Weite des einzelnen Gefässes 7—8 μ. Zwei Zentralgefässe, deren lichte Weite 18 μ beträgt, sind ausserdem vorhanden. Die Leitzellen füllen ausser dem Siebteil, der genau wie bei der Triebwurzel gebaut ist, den Zentralzylinder. Bei ältern Nebenwurzeln verdicken und verholzen auch sie.

Festuca ovina.

Dem perennierenden Rhizom, das nach oben kissenartige Rasenbüschel treibt, entspringt eine grosse Zahl durchschnittlich 25 cm langer Haftwurzeln. Dieselben sind dünn und messen am Wurzelhals nach Verlust der Rinde durchschnittlich 0,270 mm, mit Rinde 0,595 mm. Den Haftwurzeln entspringen sehr dünne, haarartige Nebenwurzeln, die an ihrer Ursprungstelle 0,175 mm dick sind und von denen zahllose 0,08 mm dicke Nebenwurzeln zweiter Ordnung abzweigen. Epi- und Hypoderm sind schon beschrieben.

Die Rinde besteht aus 6—7 mehr oder weniger strahlenförmig angeordneter Zellreihen, bei denen ein Unterschied zwischen Innen- und Aussenrinde nicht zu erkennen ist. Bis auf die zwei Zelllagen, die der Endodermis anliegen und abgeflacht erscheinen, sind die Zellen der Rinde von polygonaler Form mit kleinen drei-

eckigen und viereckigen Interzellularen zwischen sich. Die Durchschnittsgrösse beträgt radial 22,2 μ, tangential 26,64 μ. Die Wandstärke ist sehr gering, nämlich 0,5 μ. Nur die Zelllagen, die der Endodermis anliegen, erscheinen etwas verdickter. Vergleicht man die Stärke der Verdickungsschichten an Exemplaren von verschiedenen Standorten, so ergibt sich:

Standort	Anzahl der verdickten Zellen	Grösse der Zellen		Wandstärke	
		radial	tangential	äussere Tangentialwand	innere Tangentialwand
				μ	μ
Bot. Garten	1—2	entweder 1 grosse		1,2	1,2
		16 μ	17,4 μ		
		oder 2 kleine			
		8 μ	9 μ		
Mauerritze bei Erlabrunn	1—2	8 μ	9 μ	1,4	1,4
Ravensburg	2	1 = 7 μ	1 = 16 μ	1,6	1,6
		2 = 9 μ	2 = 18 μ		
Sandiger Wiesenabhang	2	1 = 7 μ	1 = 21 μ	1,5	1,5
		2 = 10 μ	2 = 23 μ		

Die Zellen der Rinde besitzen wie immer im Jugendzustand die pektinhaltige Mittellamelle und die zellulosehaltige Innenlamelle. Beide verholzen und nehmen einen braunschwarzen Stoff in sich auf, der die Holzreaktion verschleiert. Bei alten Wurzeln ist die Epidermis abgeschilfert, die Rindenzellen werden von aussen nach innen zu komprimiert und bedecken als tote Hülle lange nach den Zentralzylinder, nur die ein bis zwei innersten verdickten Zellenlagen bleiben unversehrt erhalten. Das Exemplar von Festuca ovina, das auf einer Wiese gewachsen war, zeigte jedoch ein ganz anderes Verhalten. Hier trat zuerst Lakunenbildung ein und allmählich lösten sich Teile der Innenrinde bis auf radiale Zellstreifen auf, die die Zellen der Hypodermis und einer sich anschliessenden Zelllagen mit denen der verdickten Rindenschichten verband.

In einem Spitzenabstand von 1 cm ist bei Festuca der Tertiärzustand bei ausgewachsenen Wurzeln vollkommen ausgebildet. Die Zellen erscheinen u-förmig verdickt. Die Verdickungsschichten betragen:

Standort	Grösse der Endodermis		Dicke der tangentialen	
	radial	tangential	Innenwand	Aussenwand
	μ	μ	μ	μ
Botanischer Garten	16	16	4,2	1,4
Mauerritze bei Erlabrunn	15	18	7,5	1,5
Ravensburg	16	16	7,5	1,45
Sandige Wiese	16	16	6	1,5

Alle Elemente des Zentralzylinders erscheinen verdickt und verholzt und zeigen nichts Charakteristisches. Die Anzahl und Weite der Zentralgefässe ist aus der Tabelle ersichtlich.

Standort	Durchmesser der Zentralzylinder	Anzahl der Zentralgefässe	Weite derselben
	mm		μ
Botanischer Garten	0,220	7	18
Mauerritze	0,210	6	25,5
Ravensburg	0,194	6	18—20
Sandige Wiese	0,182	6	18

Bei den Nebenwurzeln erster und zweiter Ordnung fehlt die Hypodermis. Die Rindenzellen sind reduziert und in Zickzackform angeordnet. Bei der Nebenwurzel zweiter Ordnung waren es noch drei. Die einzelnen Zellen sind relativ gross und in tangentialer Richtung gestreckt, die der Endodermis anliegende ist abgeflacht. Im Alter trifft die Rinde dasselbe Los wie das [bei] der Haftwurzel.

Die Zellen der Endodermis sind u-förmig verdickt. Dicke der innern Tangentialwand 3,5 bei einer Grösse von 14,5 μ in tangentialer und 11,5 in radialer Richtung.

Drei Protoxylemelemente, deren lichte Weite 3,5 μ beträgt, erscheinen an der Peripherie des Zentralzylinders gleichmässig verteilt. Im Zentrum genau ein grösseres Gefäss, lichte Weite 7—8 μ. Die Leitzellen erscheinen auch in alten Wurzeln nicht verdickt, doch verholzt; ihre durchnittliche Grösse beträgt = 3,5—4 μ.

Aira flexuosa.

Das untersuchte Material stammt aus Gemünden von einem sandigen Waldabhang des Buntsandsteins und aus dem botanischen

Garten. Unterschiede zwischen den Exemplaren konnte ich keine auffinden.

Dem langen, kriechenden, perennierenden Rhizom entspringen zahlreiche Wurzelpaare meist in Dreizahl. Die einzelne Wurzel ist mit der braun-schwarzen Kruste der toten Rinde bedeckt. Der Durchmesser einer solchen Wurzel mit Kruste beträgt 0,30 mm, des Zentralzylinders allein 0,180 mm.

Die Seitenwurzeln erster Ordnung sind schon sehr fein, ihre Querschnittsgrösse 0,25 mm mit Rinde. Die Nebenwurzeln zweiter Ordnung messen im Querschnitt an ihrer Ursprungsstelle 0,09—0,14 mm.

Die Verzweigung bei Triebwurzeln beginnt im Abstande von 5,5 cm, bei Seitenwurzeln etwa bei 1,5 cm Spitzenabstand.

Epidermis und Hypodermis sind schon im allgemeinen Teil abgehandelt.

Die Rinde ist einheitlich und besteht aus fünf Reihen polygonaler Zellen, die in tangentialer Richtung gestreckt sind und von aussen nach innen an Grösse abnehmen. Die beiden Zelllagen, die der Endodermis anliegen, erscheinen abgeflacht, interstitienlos, während zwischen den übrigen Rindenzellen Interzellularen von dreieckiger Querschnittsform sich befinden. Die Anordnung der Rindenzellen ist im Jugendzustand mehr oder weniger strahlenförmig, bei 5 cm Spitzenabstand sind die Zellen etwas aus ihrer Lage verschoben und erscheinen halb strahlen- halb zickzackförmig angeordnet. Die Wände der Rindenzellen sind dünn, 0,6—0,7 μ stark, und bestehen wie immer aus der pektinhaltigen Mittellamelle und der Innenlamelle aus Zellulose; beide verholzen nach einiger Zeit und gleichzeitig nehmen sie einen braunen Stoff auf, der die Holzreaktion nur schwach noch erkennen lässt.

Verdickt von der Rinde wird bloss die der Endodermis anliegende Zellschicht; die Wandstärke beträgt hier auf allen Wänden 1,5—2 μ bei einer durchschnittlichen Zellgrösse von 7 μ in radialer und 15 μ in tangentialer Richtung. Die Rinde bleibt bei Aira bloss beschränkte Zeit erhalten. Der Zerstörungsprozess setzt gewöhnlich in der dritten Zelllage über der Endodermis ein, hier werden etliche Zellen zusammengepresst und verschwinden. Wie nun eine Mauer, der man unten einen Stein wegnimmt, leicht zusammenbricht, ebenso stürzen hier die Zellen, die sich über den verschwundenen befinden, ein, werden dabei teilweise zerrissen, teilweise komprimiert. Ist aber erst an einer Stelle die Rinde defekt, so dauert es bis zum

völligen Verlust derselben nicht lange: die braunen Zellfetzen liegen der Rinde noch lange auf.

Die Endodermis erscheint u-förmig verdickt, die Dicke der innern Tangentialwand beträgt am Wurzelhals älterer Wurzeln 7,5 μ, die des äussern 1,5 μ. Die Grösse der Endodermiszellen beträgt auf dem Querschnitt in radialer und tangentialer Richtung 18 μ; ihre Länge auf dem Längsschnitt 140 μ. Der Tertiärzustand beginnt bei den untersuchten Triebwurzeln durchgängig bei 2,8—3 cm Spitzenabstand, bei ältern Haftwurzeln bei 1 cm.

Die Perikambiumzellen, die wie früher erwähnt durchschnittlich gleich sind (22 μ radial und tangential), werden zuweilen von den Protoxylemzellen durchbrochen. Die einzelnen Zellen des Perikambiums verdicken und verholzen auch ihre Wände, doch weichen sie dabei etwas von den übrigen Gramineen ab. Zuerst werden auch hier die Zellen vor dem Siebteil verdickt, nach ganz geraumer Weile erst auch die übrigen, so dass erst bei ältern Wurzeln am Wurzelhals der Ring dieser Perikambiumzellen einförmig verdickt erscheint.

5—6 Zentralgefässe, deren lichte Weite zirka 30 μ beträgt, sind vorhanden. Leitzellen füllen auch bei Aira den grössten Teil des Zentralzylinders aus, doch sind sie, namentlich die der Mitte, durch ihr relativ grosses Lumen auffallend; bei isodiametrialer Form beträgt ihr Querdurchmesser 12 μ; ihre Wandstärke beträgt selbst bei ältern Wurzeln bis 1,5 μ. Ihrem chemischen Aufbau nach bestehen sie aus Holzstoffen und färben sich mit Phlorogluzin und Salzsäure rot.

Die Nebenwurzeln erster Ordnung unterscheiden sich von den eben beschriebenen Haftwurzeln durch das Fehlen der Hypodermis und der Interzellularen der Rinde, sonst sind sie das verkleinerte Bild der Triebwurzel.

Nebenwurzeln zweiter Ordnung zeichnen sich durch die Grösse der Rinde als solcher gegenüber dem Zentralzylinder sowie auch durch die der einzelnen Rindenzellen aus. Die Grösse des ganzen Querdurchmessers eines Querschnitts beträgt 0,12 mm, davon kommen auf den Zentralzylinder bloss 35 μ, der Rest auf die Rinde. Die einzelnen Rindenzellen sind in Zickzackform lückenlos angeordnet und erscheinen durchschnittlich gleich gross; ihr radialer Durchmesser 11,5 μ, ihr tangentialer = 30 μ; ihre Wandstärke 0,7 μ. Die Endodermis besteht ebenfalls aus u-förmig verdickten Zellen; die innere Wandstärke beträgt 1,5—2 μ, die äussere 0,8—1 μ.

Vier Protoxylemelemente sind an der Peripherie des Zentralzylinders angeordnet, direkt an die Endodermis stossend, deren lichte Weite 4 μ beträgt. Ein Zentralgefäss von 5 μ Durchmesser befindet sich in der Mitte des Zentralzylinders, der im übrigen von unverdickten Leitzellen ausgefüllt ist.

Andropogon Ischaemune.

Andropogon ist in der Flora von Würzburg eine seltene Erscheinung; ich fand sie nur auf sandigem Kalkboden an einem kleinen Abhang der Chaussee Stetten-Karlstadt. Untersucht wurden ausserdem Exemplare, die im botanischen Garten gewachsen waren. Unterschiede zwischen beiden Pflanzen waren so gut wie nicht vorhanden.

Das kurzästige und kurzgliedrige Rhizom sendet relativ wenig, dafür aber stark entwickelte Haftwurzeln. Der Querdurchmesser am Wurzelhals betrug 1,2 mm; der einer Nebenwurzel I. Ordnung 0,405, II. Ordnung 0,12 mm.

Die Epidermiszellen sind bei Andropogon klein (tangential = 14, radial = 17 μ). Dass die Wände derselben verholzen, wurde schon erwähnt. Die Hypodermis ist bis 1,1 cm Spitzenabstand im Primär-, bei 2,8 cm Spitzenabstand vollkommen im Sekundärzustand ausgebildet.

Die Aussenrinde besteht bei Andropogon aus durchschnittlich zwei Zelllagen; die Zellen derselben sind isodiametrisch, polygonal in Zickzackform angeordnet auf dem Querschnitt. Sie geben ganz jung Zellulosereaktion, verholzen aber schon bei 0,6 cm Spitzenabstand, lagern dann eine Zelluloselamelle wieder auf, die abermals durch Einlagerung von Holzstoffen verändert wird. Die Wanddicke der Aussenrindenzellen beträgt bei 1,6 cm Spitzenabstand 3,5 μ auf dem Querschnitt, bei alten Wurzeln sind ihre Wände fast bis zum Schwur des Lumens verdickt. Die einzelne Aussenrindenzelle ist durchschnittlich 15 μ auf dem Querschnitte gross, ihre Länge beträgt 90 μ. Die Querwände erscheinen auf dem Längsschnitte gerade gestellt.

Bei der Innenrinde von Andropogon lässt sich eine äussere und innere unterscheiden. Die ganze Innenrinde besteht aus durchschnittlich 10 Zelllagen, die in Form von konzentrische nKreisen angeordnet sind. Während die Zellen der inneren Innenrinde alle gleich gross und genau radienförmig angeordnet erscheinen, lassen die der äusseren Innenrinde ihre ursprüngliche Anordnung nicht mehr deutlich er-

kennen. Durch ungleiches Wachstum einzelner Zellen sowie durch neue eintretende Radialteilung erscheinen sie verschoben aus der ursprünglich strahligen Anordnung. Im Jugendzustand sind die Zellen der Innenrinde polyedrisch, bald aber runden sie sich ab, indem ein Teil der gemeinsamen Mittellamelle gespalten wird, und es entstehen manchmal schon relativ grosse Interzellularen, die zuerst in der an die Aussenrinde stossende Zellschicht beginnen und nach innen zu fortschreiten. Schon 0,6 cm hinter der Spitze fanden sich zahlreiche Interzellularräume; wenn man sich vergegenwärtigt, dass diese stets doch im Dienste der Atmung stehen, dass das Wachstum in dem angegebenen Spitzenabstand noch gross ist, infolgedessen ein gesteigerter Sauerstoffverbrauch stattfindet, die Luftzufuhr durch die sich verdickende Aussenrinde herabgesetzt wird, so ist das frühzeitige Auftreten der Interzellularen verständlich. — Die Interzellularen werden mit dem Alter der Pflanze grösser, es treten Zerrungen, Reissungen ein, auch werden einzelne Zellen aufgelöst, übrig bleibt ein Gebilde der Rinde, das dem Klingeschen Typus II A entspricht.

Die Grösse der äusseren Rindenzellen, solange sie noch vollkommen erhalten sind, ist verschieden. Die Zellen, die der Aussenrinde anliegen, sind am kleinsten (tangentialer Durchmesser 30 μ, radialer = 28 μ).

In der vierten Zellreihe haben sie ihre grössten Durchmesser erreicht (tangential 56 μ, radial 35 μ), dann nimmt er allmählich nach innen wieder ab. Die Länge der äusseren Rindenzellen = 125 μ. Im Jugendzustand geben die Zellen alle Zellulosereaktion, später verholzen die, die als radienförmige Zellbänder erhalten bleiben, ihre Wände, während die übrigen unverholzt bleiben.

Die Zellen der inneren Innenwände bestehen aus zwei bis drei Zelllagen; die einzelne Zelle erscheint in tangentialer Richtung gestreckt und abgeflacht. Die beiden an die Endodermis sich anschliessenden Zelllagen sind genau gleich gross; ihr tangentialer Durchmesser beträgt 21 μ, ihr radialer 14 μ. Die sich nach aussen anschliessende Zellschicht vergrössert ihren tangentialen und radialen Durchmesser und bildet den Übergang zu den übrigen äusseren Rindenzellen. Interzellularen sind zwischen Endodermis und innerster Rindenschicht nicht vorhanden, wohl aber zwischen dieser und der sich anschliessenden Rindenschicht.

Die inneren Innenrindenzellen verdicken ihre Zellwände durch Holzeinlagerung und zwar auf den inneren Tangentialwänden am stärksten; hier beträgt die Dicke der inneren Tangentialwand an

beiden Zellen 1,4 μ, an der äusseren Tangentialwand 0,8 μ. Auf dem Längsschnitte erscheinen die inneren Rindenzellen 120 μ lang, die Querwände zwischen zwei Zellen sind schräg gestellt; auf radialen und tangentialen Wänden sind Tüpfel vorhanden.

Die Zellen der Endodermis erscheinen 4seitig; rechteckig auf dem Querschnitte und von genau gleicher Grösse; die einzelnen Zellen sind in tangentialer Richtung etwas gestreckt (tangential = 17,5 μ, radial 14,5 μ), die Länge 108 μ. Der Tertiärzustand der Endodermis beginnt schon bei 1,5 cm Spitzenabstand; die Tertiärschichten werden in ihrer Masse auf der inneren Tangentialwand aufgelagert, während die übrigen Wände dünn bleiben. Ursprünglich bestehen die aufgelagerten Schichten aus Zellulose, die später durch Einlagerung von Kieselsäure verändert erscheinen.

Auf diese merkwürdige Einlagerung hat schon *Klinge* aufmerksam gemacht. Nabelförmige Ausstülpungen oder Protuberanzen nennt sie *Klinge*, die mit ihrer Spitze zur unverdickten Aussenmembran gerichtet tief in das Lumen der Zellen hineinragen. Gewöhnlich fand ich 10—12 solcher Buckel in einer Zelle, die in einer, meistens aber in 2 Längsreihen parallel der Achse angeordnet waren.

Bei Andropogon werden im Zentralzylinder alle peripheren Elemente: Perikambium und die der anstossenden Zellschichte, wie früher erwähnt, stark verdickt. Die Anzahl der Zentralgefässe beträgt bei den beiden, an verschiedenen Standorten gewachsenen Exemplaren 10—12, deren lichte Weite 32—35 μ beträgt.

Von allen untersuchten Gramineen ist Andropogon Isch. durch den Besitz von typisch ausgebildetem Markgewebe ausgezeichnet. Die Zellen desselben sind polyedrisch, durch kleine Interzellularen voneinander getrennt und bedeutend grösser als die angrenzenden Leitzellen. Ihre durchschnittliche Grösse ist 18 μ auf dem Querschnitte. Mit Chlorzinkjod färben sie sich violett. Während die Exemplare, die im botanischen Garten gewachsen waren, stets auch in älteren Wurzeln die Zellulosereaktion bei den Markzellen ergaben, erschienen bei denen von Karlstadt dieselben verholzt. Die Wanddicke der Zellen beträgt in jüngeren Stadien 0,8—1 μ, in älteren steigt sie bis 2,4 μ. Gefüllt sind diese Markzellen prall mit Stärkekörnern. Die Körner sind zentrisch gebaut mit punktförmigem Zentrum oder auch mit einer einfachen bis dreistrahligen Kernspalte versehen. Sie werden bis 6 μ gross.

Die Nebenwurzel I. Ordnung ist genau gebaut wie die eben

beschriebene, dagegen ist die II. Ordnung etwas verändert, mehr oder weniger reduziert.

Ihnen fehlen vor allem das Hypoderm und die Aussenrinde. Die Rinde besteht aus vier Zelllagen polygonaler, etwas in tangentialer Richtung gestreckter, interstitienlos aneinanderliegender, zickzackförmig angeordneter Zellen, die durch ihre relative Grösse ausgezeichnet sind. Bis zur dritten Zelllage von aussen nach innen gerechnet nehmen sie an Grösse zu, die vierte der Endodermis anliegende Zelle ist kleiner und erscheint abgeflacht. Der tangentiale Durchmesser schwankt zwischen 30—40 μ, der radiale zwischen 18—28 μ. Die Wanddicke ist bei allen Rindenzellen die gleiche 0,8 μ.

Die Endodermiszellen erscheinen auf dem Querschnitt als Rechtecke; ihre Grösse beträgt radial 18 μ, tangential 30 μ. Die Wandstärke im Tertiärzustand 1,5 μ auf allen vier Wänden.

Der Zentralzylinder zeigt nichts besonders Charakteristisches; alle Elemente sind verdickt und durch ihr grosses Lichtbrechungsvermögen ausgezeichnet; die Verdickungsschichten geben Holzreaktion. Die Wanddicke der sämtlichen Elemente des Zentralzylinders beträgt 1,5 μ.

10 Protoxylemgefässe, deren lichte Weite 7,5 μ beträgt, sind vorhanden, von der Endodermis durch 2 Zelllagen, vom Siebteil durch eine Lage oblonger parenchymatischer Zellen getrennt, ferner 1 grosses im Zentrum befindliches Zentralgefäss, dessen lichte Weite 18 μ beträgt.

Markzellen sind bei den Nebenwurzeln II. Ordnung nicht mehr vorhanden, der freie Raum im Zentralzylinder wird von den Leitzellen, deren Grösse radial und tangential 7 μ beträgt, eingenommen.

Brachypodium pinnatum.

Bei allen bisher untersuchten Gramineen fand sich ein kurzes Rhizom, bei Brachypodium ist dasselbe queckenartig kriechend, gegliedert. Den einzelnen Knoten entspringen stets die Wurzeln in der Dreizahl. Einzelne Exemplare sind durch den Dimorphismus ihrer Wurzeln ausgezeichnet: Einige längere mit zahlreichen Nebenwurzeln, andere kürzere, die sich in Büschel von feinsten Saugwürzelchen auflösen. Der Querdurchmesser der Haftwurzeln beträgt am Wurzelhals 0,805 mm; der Nebenwurzeln I. Ordnung 0,357 mm, der II. Ordnung 0,147 mm. Bei den Triebwurzeln beginnt die Verzweigung 6 cm,

bei älteren Haftwurzeln 1,5—2 cm, bei Nebenwurzeln 1,4 cm von der Spitze. Auf die eigentümlichen und auffallenden Standorts- und Bodenverhältnisse von Brachypodium hat *Kraus*[1]) schon aufmerksam gemacht; in seinem „Anemometrisches vom Krainberg“ S. 23 und 24 findet sich die Angabe, dass die Stellen, von denen Brachypodium Besitz nimmt, flache Mulden oder rinnenförmige Vertiefungen sind, die als windstille Punkte der Pflanze Schutz vor der austrocknenden Wirkung des Windes gewähren und ferner, dass sie auf kalkarmen Inseln innerhalb des gewöhnlichen Kalkbodens lebt, Inseln, die in unmerkbaren Senkungen sich finden und die durch Schlemmung des natürlichen Kalkbodens bei starken Regengüssen erzeugt werden (S. 24).

Bei relativ grossem Umfang der Wurzel sind die Epidermiszellen klein, um so grösser erscheinen daher die Rindenzellen. Die Zellen der Aussenrinde, die eine Zelllage stark ist, stehen in lückenlosem Verbande und sind so angeordnet, dass 3—4 Epidermiszellen auf 2 Rindenzellen stossen. Zwischen den grossen Rindenzellen sind einige kleinere eingestreut, die gewöhnlich isodiametrisch gestaltet sind. Der tangentiale Durchmesser der Aussenrinde beträgt 32,4 μ, der radiale = 14,8 μ. Die Länge der Aussenrinde 105 μ. Die Dicke der Wände 0,7—0,8 μ. Die Querwände erscheinen auf dem Querschnitt bald gerade, bald schräg gestellt; Tüpfel sind auf Längs- und Querwänden vorhanden. Die Lamellenstruktur setzt sich aus einer Mittellamelle, die Zwickel zwischen den einzelnen Zellen bildet und Holzreaktion zeigt und einer inneren Lamelle, die bei Triebwurzeln bis zu 6 cm Spitzenabstand Zellulosereaktion gibt, darüber hinaus aber verholzt oder verkorkt erscheint, zusammen. Die Innenrinde besteht aus fünf Zelllagen, die in Zickzackform angeordnet erscheinen. Die Zellen, die der Aussenrinde anliegen, sind noch mehr oder weniger polygonal, isodiametrisch, die weiter nach innen sich anschliessenden rundlichen immer etwas in tangentialer Richtung gestreckt; ihr tangentialer Durchmesser schwankt zwischen 31 und 40 μ, der radiale beträgt durchschnittlich 15 μ. Die Zellwanddicke ist 0,8 μ. Bis 4 cm von der Spitze geben die Zellwände Zellulosereaktion, darüber hinaus beginnen einzelne Holzstoffe einzulagern. Die Länge der Innenrinde beträgt 87,5 μ. Die Querwände sind auf dem Längsschnitte gerade gestellt, und reiche Tüpfelung macht sich auf allen Wänden bemerkbar.

1) *Kraus*, Anemometrisches vom Krainberg.

Abweichend von dem eben Geschilderten verhalten sich die ein oder zwei Lagen der der Endodermis anliegenden Zellen. Zunächst liegen die innersten 2 oder 3 Zellreihen genau radial hintereinander dann sind sie kleiner und besitzen eine mehr abgeflachte Form als die übrigen Rindenzellen. Ausserdem legen sie starke Verdickungsschichten und zwar exzentrisch gelagerte in ihrer Innenseite auf. Schon in einer Entfernung von 1 cm von der Wurzelspitze haben sich ihre inneren Tangentialwände stark verdickt, während die äusseren schwächer bleiben, die Radialwände erscheinen daher keilförmig. Die stoffliche Zusammensetzung der Wände ist am leichtesten am Gang der Entwickelungsgeschichte dieser Verdickungsschichten zu sehen. Gleich über der Wurzelspitze zeigen die Wände schwache Zellulosereaktion, sehr früh schon in Entfernung von 0,5 cm von der Spitze sieht man deutlich bei ihnen die Phlorogluzinreaktion eintreten. Auf dieser verholzten Lamelle befindet sich eine Zelluloselamelle, die aber auch sehr bald verholzt. Die Auflagerung von Stoffen nimmt nun seinen Fortgang; stets werden Zelluloselamellen aufgelagert, die später verholzen. — Die Zellen der inneren Rinde, die an die Endodermis grenzen, sind zuweilen von ungleicher Grösse, z. B. bei dem Exemplar, das im hiesigen botanischen Garten gewachsen war. Offenbar haben sich hier einzelne Zellen durch später auftretende Tangentialwände noch gekammert.

Eine Vergleichung der innern Rindenzellen und den ihnen aufliegenden Verdickungsschichten bei Pflanzen, die an verschiedenen Plätzen gewachsen sind, gibt beifolgende Tabelle:

Standort	Anzahl der vorhandenen Verdickungszellenreihen	Grösse der Zellen		Wandstärke	
		radialer Durchmesser	tangent. Durchmesser	äussere Tangentialwand	innere Tangentialwand
		μ	μ	μ	μ
Fuss Volkenberg	2	1 = 9	1 = 18	1 = 1,5	1 = 4,2
		2 = 12	2 = 21	2 = 1,5	2 = 3,5
vor Höhe Gadheim. Wald	1	14	23	1,4	4
Saupürzel	2	1 = 9	1 = 17	1 = 2	1 = 6
		2 = 16	2 = 23	2 = 1,6	2 = 4
Ravensburg	2	1 = 9	1 = 18,8	1 = 2	1 = 2
		2 = 9	2 = 21	2 = 1,5	2 = 1,5
Steinberg	2	1 = 8	1 = 18	1 = 1,6	1 = 4
Botan. Garten		1 = 10	2 = 24	2 = 1,5	2 = 3,5

Mit dem Alter der Wurzeln treten naturgemäss auch in der äussern Innenrinde Änderungen ein. Schon die Farbe derselben ändert sich; die jungen Triebwurzeln erscheinen weiss, die alten gelb bis braun. Im Abstand von 5 cm geht die Epidermis verloren und die äussere Rindenschicht grenzt die Wurzel nach aussen ab. Die Rinde bleibt nun bei zahlreichen Exemplaren vollkommen erhalten und alle Zellen erscheinen verholzt, z. B. bei Vertretern vom Saupürzel. Bei Brachypodium von der Ravensburg war in den innern Rindenschichten Lakunenbildung eingetreten, bei dem Gadheimerexemplar waren nur noch einige Zellbänder zwischen Aussen- und Innenrinde erhalten; hier zeigten die vorhandenen Zellbäuder Holzreaktion, während die Residua der kollabierten Zellen Zellusosereaktion gaben. Bei den Exemplaren vom Steinberg ist die Rinde bis auf die verdickte innere Rinde verschwunden.

Die Endodermiszellen sind gewöhnlich 4-seitig, alle vier Seiten gleich. Längsdurchmesser 70 μ. Die Querwände sind gerade. Zahlreiche Tüpfel auf allen Wänden. Der Primärzustand der Endodermis dauert bei ausgewachsenen Wurzeln bis 0,8 cm über der Spitze. Sekundär- und Tertiärzustand folgen unmittelbar aufeinander. Die Grösse der Verdickungsschicht ist aus folgenden Zahlen ersichtlich:

Standort	Grösse der Endodermzellen		Wandstärke		
	radial	tangent.	äussere Tangentialw.	innere Tangentialw.	Radialwand
	μ	μ	μ	μ	μ
Volkenberg	15,6	15	1,7	5	keilförmig
Gadheimer Wald	19	21	1,3	7	„
Saupürzel	14,5	13	1,4	5	„
Ravensberg					
Steinberg	16	17	1,5	7	„
Botan. Garten	14	15	1,5	6	„

Der ganze Zentralzylinder gibt bei dem untersuchten Brachypodium vertreten immer dasselbe Bild. Er besteht aus lückenlosen aneinanderliegenden Zellen, die ihre Wände alle verdicken, fast bis auf den Schwund des Lumens, namentlich in den peripherischen Partien. Die Anzahl und lichte Weite der Zentralgefässe wird ersichtlich aus folgender Tabelle:

Standort	Querdurchmesser des Zentralzylinders mm	Anzahl der Zentralgefässe	Lichte Weite derselben μ
Volkenberg	0,35	9	27 Wandstärke 3,5
Gadheimer Wald	0,294	6	30
Saupürzel	0,315	7	41 Wandstärke 3
Ravensburg	0,34	8	35
Steinberg	0,32	6	40
Botan. Garten	0,289	8	30

Die Nebenwurzeln erster Ordnung sind genau so gebaut, wie die eben beschriebene Triebwurzel, natürlich nur entsprechend kleiner. Der Querdurchmesser derselben beträgt 0,29 mm. Eine Aussen- und Innenrinde ist vorhanden. Letztere setzt sich aus fünf Reihen polygonaler, tangential gestreckter Zellen zusammen, die bloss in ganz alten Nebenwurzeln Interzellularen aufweisen, sonst interstitienlos aneinander gefügt erscheinen. Eine der Endodermis anliegende Rindenschicht zeigt die exzentrisch geschichteten Verdickungschichten. Diese sind genau so stark entwickelt, wie bei den Triebwurzeln — 7 μ stark.

Die Endodermzellen zeigen die u-förmige Verdickung; ihr Durchmesser in radialer und tangentialer Richtung beträgt 14,8 μ. Die Anlagerung der Sekundär- bezw. Tertiärschichten findet im Abstand von 1—1,2 cm von der Spitze statt.

Acht an der Peripherie des Zentralzylinders vorhandene Protoxylemzellen sind durch zwei Reihen von Perikambialzellen von der Endodermis getrennt. Ihre lichte Weite = 7 μ. Ausserdem zwei, manchmal drei grössere Zentralgefässe, deren lichte Weite 20 μ beträgt. Die Leitzellen, die isodiametrisch gestaltet durchschnittlich 7,5 μ gross sind, verholzen im Alter ihre Wände und verdicken sich bis 1,3 μ.

Der Durchmesser der Nebenwurzeln zweiter Ordnung beträgt am Wurzelhals 0,147 mm, der des zugehörigen Zentralzylinders 0.045 mm. Die Epidermiszellen der Nebenwurzeln zweiter Ordnung sind relativ klein und mit zahlreichen Wurzelhaaren versehen. Grösse: radial 9 μ, tangential 7 μ, Wandstärke und chemische Struktur wie immer. Die Rinde besteht aus drei Reihen polygonaler, in Zickzackform

angeordneter, von aussen nach innen an Grösse allmählich abnehmender Zellen. Ein Unterschied zwischen Aussen- und Innenrinde ist bei Nebenwurzeln zweiter Ordnung nicht mehr vorhanden. Auch fehlt die Verdickung der Zellwände bei den der Endodermis anliegenden Zellen. Alle Zellen der Rinde verholzen ihre Mittellamelle, während die Innenlamelle Zellulosreaktion gibt. Bei 1 cm Spitzenabstand ist die Endodermis mit der u-förmigen Verdickung als Schutzscheide ausgebildet. Im Zentralzylinder finden sich zwei bis drei Protoxylemgefässe, die direkt an die Endodermis stossen, deren lichte Weite 2—3 μ beträgt und ein grösseres Zentralgefäss mit 6 μ lichter Weite. Siebteil und Leitzellen wie immer gebaut, doch geben sie mit Chlorzinkjod stets Zellulosereaktion.

Molinia coerulea.

Haben wir bis jetzt Wurzeln von Gramineen betrachtet, die auf exquisit trockenem Boden gewachsen sind, so erscheint es vielleicht nicht uninteressant zum Vergleich eine Gramineenwurzel heranzuziehen, die auf feuchtem Waldboden im Schatten von hohem Laubholz gewachsen ist. Schon durch ihre äussere Form fällt die Wurzel von Molinia auf. Waren die Wurzeln der übrigen Gramineen relativ klein und dünn und krochen an der Oberfläche des Erdbodens hin, so besitzt Molinia feste, dicke Wurzeln, die senkrecht nach unten wachsen, die ein Meter und mehr lang werden. Am Wurzelhals betrug der Querdurchmesser 2—2,5 mm. Die Wurzel besitzt zahlreiche Nebenwurzeln, die im Abstande von 3—4 cm von der Spitze angelegt werden. Die Länge der Nebenwurzeln erster Ordnung beträgt bis 50 cm, ihr Querdurchmesser an der Ansatzstelle der Mutterwurzel 0,35—0,45 mm. 1 mm von der Spitze 0,05 mm.

Die Nebenwurzeln zweiter Ordnung besitzen durchschnittlich einen Querdurchmesser von 0,08—0,1 mm; sie lösen sich in ein Nest feiner Fasern auf. Äusserlich hat die Wurzel ein lederartiges Aussehen.

Die Form und Anordnung der Epidermiszellen ist die gleiche wie bei den übrigen Gramineen; die Zellen sind isodiametrisch; ihr radialer Durchmesser von einer Mittellamelle zur andern beträgt 20 μ, ihr tangentialer 22 μ. Die Länge 70—90 μ; diejenigen Zellen, die zu Haaren auswachsen, besitzen bloss eine Länge von 45 μ. Was die Wanddicke anbelangt, so ist die äussere Tangentialwand 3,2 μ, die innere bloss 1,4 μ dick. Die Lamellenstruktur ist die gleiche wie bei den übrigen.

Was die Anzahl der Wurzelhaare betrifft, so ist sie gross. Bei einem Wurzelumfang von 1,5 mm zählte ich auf einem Querschnitte, der 76 μ dick war, 120 Haare, so dass auf einen Millimeter des Umfangs 1580, auf einen Quadratmillimeter 325 Haare kommen. Die Länge der Wurzelhaare beträgt 150—175 μ, die Breite am Grunde 14 μ, an der Spitze 7 μ, die Wanddicke des Haares beträgt 12 μ; an der Spitze ist es massiv und 3—4 μ dick. Das Leben der Epidermiszellen ist nur von kurzer Dauer. Wenn sie zuweilen erhalten sind, so haben sie ihre innere Lamelle verholzt und dienen nicht mehr zur Nährstoffaufnahme, sondern nur noch als schützende Hülle.

Die Zellen des Hypoderm sind grösser als die Epidermiszellen, besonders in tangentialer Richtung. Bei hexagonaler Gestalt messen sie in radialer Richtung 20 μ, in tangentialer 31 μ. Die Wanddicke ist auf Radial- und Tangentialwänden gleich und beträgt bei 1 cm Spitzabstand 0,6 μ, später 1 μ. Die Länge dieser Zellen schwankt zwischen 150—180 μ. Die Querwände erscheinen auf dem Längsschnitt nur wenig schräg gestellt. Mit der Epidermis stehen im Jugendzustand durch zahlreiche Tüpfel diese Zellen in Verbindung. Die chemische Struktur der Zellwände ist im allgemeinen Teil dieser Arbeit abgehandelt. Rei 1 cm Spitzenabstand beginnt in einzelnen Zellen der Sekundärzustand und zwar wird die Suberinlamelle auf einzelnen, auf dem Querschnitt zerstreut liegenden Zellen aufgelagert; fortschreitend greift die Verkorkung immer mehr um sich, bis endlich in der Entfernung von 4 cm alle Zellen die Suberinschicht besitzen.

Die Aussenrinde besteht aus 4—5 Zelllagen. Die Zellen sind 4, 5 und mehreckig, bald grösser, bald kleiner, in Zickzackform angeordnet und lückenlos aneinanderliegend.

Der radiale Durchmesser beträgt 20—28 μ, der tangentiale 23—35 μ. Die Länge schwankt zwischen 120—250 μ. Längs- und Querwände sind mit zahlreichen, spaltenförmigen Tüpfeln versehen. Schon sehr früh bereits $^1/_2$ cm von der Spitze verdicken diese Zellen, deren Weite 0,7 μ dick sind, ihre Wand durch Einlagerung von Stoffen. Damit beginnen die innersten der Aussenrinde, und in zentrifugaler Folge schreitet die Verdickung fort, so dass die den Hypoderm anliegenden noch unverdickt sind, während die innersten Zellen schon einen soliden Mantel angelegt haben. Jung bestehen die Zellen der Aussenrinde aus Zellulose; da wo mehrere Zellen zusammenstossen, bilden die Lamellen hübsche Zwickel. Doch rasch verholzen

die Wände und geben die Phlorogluzinreaktion. Die aufgelagerten Schichten, die die Zellen fast bis zum Schwund der Lumens verdicken, bestehen aus Kutinstoffen. Von H_2SO_4 und Chromsäure werden sie nicht angegriffen, von konzentrierter erhitzter Kalilauge unter Bildung von gelben, in Wasser löslichen Kügelchen zersetzt.

Die Innenrinde besteht aus 10 Lagen konzentrisch angeordneter Zellen, die in radialen Reihen übereinander liegen. Im Jugendzustand sind die Zellen 4-seitig, rhombisch, später dehnen und strecken sich dieselben, namentlich in radialer Richtung und nehmen eine fast kreisrunde Form an. Bei der Dehnung entstehen grössere Interzellularen von fast quadratischer Form; nur die der Endodermis anliegende Zellschicht behält ihre ursprüngliche 4-seitige Form, doch auch hier entstehen kleine Interzellularen. Der Durchmesser der der Endodermis angrenzenden Schicht beträgt in radialer Richtung 21 μ, in tangentialer 23 μ. Der Querdurchmesser der übrigen Rindenzellen beträgt 35—91 μ in allen Übergängen, allmählich von aussen nach innen an Grösse abnehmend.

Die Länge der Rindenzellen schwankt zwischen 66,5 und 87 μ. Radiale und tangentiale Wände sind von zahlreichen Tüpfeln durchzogen. Die Wandstärke der ausgebildeten Rindenzellen bei etwa 2 cm Spitzenabstand beträgt 1 μ. Die Wand besteht aus Mittellamelle, die neben Zellulose Pektinstoffe enthält, und der innern dünnen Zelluloselamelle. Mit dem Alter der Zellen nimmt ihre Zelldicke zu; sie steigt bis 5 μ. Die aufgelagerten Schichten sind von feinen Tüpfelkanälen durchzogen. Mit Chlorzinkjod behandelt, bleiben die Verdickungsschichten farblos, erscheinen aber stark lichtbrechend; in konzentrierter H_2SO_4, lösen sich die Werte nach längerem Liegen auf.

In den Zellen der Innenrinde finden sich zahlreiche kleine Stärkekörnchen, die bis 3 μ gross sind; sie sind rund und ohne Schichtung, doch liegt im Zentrum ein Spalt.

Bei 8 cm Spitzenabstand erweitern sich in der 3.—4. Zelllage von aussen gerechnet die Spalten der Innenrinde. Es findet der Vorgang statt, wie ich ihn schon bei Stipa beschrieben habe und ein ausgesprochener Rindentypus II^a von *Klinge* bleibt übrig. In den Auflösungsprozess nicht hineinverwickelt werden die der Endodermis und der Aussenrinde anliegende Zellschicht.

Die Grösse der Endodermiszellen beträgt in radialer Richtung 20, in tangentialer 25,16 μ, die Länge 136 μ. Im Primärzustand beträgt die Wanddicke 0.6 μ. Bei 2 cm Spitzenabstand ist der

Sekundärzustand vollkommen ausgebildet und der Tertiärzustand beginnt. Bevorzugt werden in diesem die inneren Tangentialwände und ein Teil der Radialwände. Bei 5 cm Spitzenabstand beträgt die Wanddicke auf der inneren Wand 7 μ, auf der äusseren 3 μ. Betrachtet man ältere Stadien, so sind die Endodermiszellen bis zum Schwund des Lumens verdickt und nur ein schmaler Spalt zwischen den beiden Tangentialwänden bleibt übrig. Ihrer chemischen Natur nach bestehen die Verdickungsschichten aus Holzstoffen, die Phlorogluzin rot färben.

Die Perikambiumschicht umzieht den ganzen Zentralzylinder. Zwischen Endodermis und Perikambium befinden sich bei Molinia kleine Interzellularen. Die Zellen sind wie bei den anderen Gramineen ungleich gross. Die vor dem Xylemteil liegenden sind polygonal, isodiametrisch, 7 μ gross; die vor dem Siebteil liegenden gewöhnlich hexagonal und bedeutend grösser, 17,5 μ radial, 14 μ tangential. Die Länge beträgt durchschnittlich ca. 105 μ. Die Membranen sind auf dem ganzen Umfang des Perikambiums gleich, ihre Stärke beträgt 0,6 μ. Sobald die Endodermis ins Tertiärstadium tritt, verholzen auch die Wände des Perikambiums und verdicken sich dann bis zum Schwund des Lumens.

Die Anzahl der Protoxylemelemente beträgt durchschnittlich 24 Zellkomplexe. Die Zellen eines einzelnen Komplexes liegen teils hintereinander und bestehen dann aus einer kleineren und grösseren Zelle, teils nebeneinander; dann sind die Zellen gleich gross; häufig bildeten 3 – 4 Zellen teils neben-, teils hintereinander einen Zellkomplex. Der Durchmesser der kleineren Zellen beträgt 8,8 μ durchschnittlich, der der grösseren bis 21 μ. Die Wandstärke der Gefässe beträgt 2,9 μ.

Ausserdem sind noch zahlreiche Zentralgefässe im Innern des Zentralzylinders vorhanden; die lichte Weite derselben beträgt durchschnittlich 32 μ.

Vom Gefässteil durch eine Reihe parenchymatischer Zellen getrennt befindet sich der Siebteil, der in der gewöhnlichen Weise angeordnet erscheint.

Die kleineren Zellen des Siebteils sind isodiametrisch und durchschnittlich 8 μ gross, die grösseren 19 μ. Auf dem Längsschnitt war die Siebröhre 125 μ lang, die Siebplatte war gerade gestellt. Die übrigen Elemente des Siebteils bestanden aus englumigen Geleitzellen und parenchymatischen Elementen. Auch bei Molinia, wie schon *Klinge* erwähnt, verholzen die Siebelemente und verdicken ihre Wandung.

Das ganze Innere des Zentralzylinders, soweit es nicht von Phloem und Xylem eingenommen wird, wird von den Leitzellen ausgefüllt. Die Zellen sind ebenso gebaut wie bei den übrigen Gramineen; ihre lichte Weite ist jedoch grösser; sie beträgt durchschnittlich 24 μ. Der chemische Aufbau der Wandung ist genau wie früher angegeben wurde. Auch sie erscheint durch verholzte Stoffe stark verdickt.

Der Bau der Nebenwurzeln I. Ordnung ist hinsichtlich der Epidermis, Hypodermis und Rinde genau der gleiche wie bei der Haftwurzel. Nur ist das Verhältnis der Rinde zum Zentralzylinder etwas verschoben. Bei einem Querschnittsdurchmesser von 0,28 mm beträgt der Durchmesser des Zentralzylinders nur 0,065 mm. In einem Spitzenabstand von 2 cm ist die Nebenwurzel vollkommen ausgebildet, die Hypodermis verkorkt, die Aussenrindenzellen verdickt, die Endodermis hat mit der Auflagerung der Tertiärschichten begonnen. Im Zentralzylinder sind 6 Protoxylempaare im Kreise an der Peripherie geordnet, gewöhnlich liegen zwei hintereinander: ein kleineres vor einem grösseren. Bei den Nebenwurzeln treten häufig die Xylemelemente an die Endodermis heran, manchmal sind sie auch durch die Perikambiumschicht getrennt. Der Querdurchmesser der kleinen Protoxylemgefässe 6 μ, der grösseren durchschnittlich 14 μ. 2—5 Zentralgefässe sind vorhanden, deren lichte Weite 25—30 μ beträgt.

Leitzellen und Siebelemente wie bei Triebwurzeln. Bei den Nebenwurzeln II. Ordnung fehlt die Hypodermis.

Die Aussenrinde besteht aus einer Reihe lückenlos aneinanderliegender, polyedrischer, nicht verdickter Zellen, die Innenrinde aus drei Zelllagen von lückenlos aneinanderliegenden, polyedrischen in Zickzackform angeordneten Zellen, deren Wände dünnwandig sind 0,2 bis 0,4 μ. Ein Kollabieren in den Rindenzellen tritt nicht ein. Die Endodermis ist genau wie bei der Triebwurzel nur in verkleinertem Massstabe gebaut.

Von den Gefässen vorhanden ist ein grösseres Zentralgefäss im Zentrum liegend, 10,5 μ gross und mehrere kleine an der Peripherie angeordnet, deren lichte Weite 3 μ beträgt.

Vergleichen wir zum Schlusse noch die einzelnen Wurzeln und sieht, welche Merkmale den einzelnen Arten zukommen, so ergibt sich folgendes Bild:

Gemeinsam ist allen untersuchten Gramineen die mehr oder weniger starke Verdickung der Zellen und Gewebe im Zentralzylinder;

Unterschiede machen sich geltend in dem verschiedenen Verhalten der Rinde.

Sehr früh verloren geht die Rinde samt Epidermis bei Sesleria coerulea und Phleum Böhmeri. Während bei Phleum die ganze Rinde bis auf die Endodermis schwindet, bleiben bei Sesleria die 2—3 Schichten der inneren Rinde verdickt erhalten; die Verdickungsschichten erscheinen kutinisiert.

Etwas länger erhalten findet sich die Rinde bei Festuca ovina und Aira flexuosa. Doch ist bei alten Wurzeln die Rinde bis auf eine der Endodermis anliegende verdickte Zelllage geschwunden.

Bei Melica und Koeleria bleibt die Rinde lange erhalten; bei alten Wurzeln ist sie durchschnittlich verloren. Bei Koeleria finden sich 2—3 Zellreihen, die die Endodermis in ihrer Funktion als schützendes Gewebe unterstützen, bei Melica dagegen ist die ganze Rinde bis auf die Endodermis geschwunden. Die Aussenwand derselben erscheint kutinisiert, die übrigen Wände verholzt. Ein Persistieren der Rinde fand sich meistens bei Brachypodiumwurzeln. Auch hier sind 1—2 Zelllagen, die der Endodermis anliegen, verdickt.

Bei den bisher angeführten Gramineen ist der Unterschied zwischen Aussen- und Innenrinde nicht bedeutend; ein solcher tritt hervor bei Gramineen, bei denen die Rinde erhalten bleibt, bei Stipa pennata- und capillata-Wurzeln, bei Andropogon Isch., bei Molinia coerulea.

Hier findet sich eine aus 2—3 Zelllagen bestehende Aussenrindenschicht, die durch Form und Verdickungsart von den übrigen Rindenzellen stark abweicht. Bei Molinia erscheint sie kutinisiert, bei Stipa und Andropogon verholzt. Die äussere Innenrinde, die bedeutend mächtiger bei Molinia als bei den übrigen entwickelt ist, bleibt nur in radialen Zellstreifen erhalten, die die Verbindung zwischen Aussen- und innerer Innenrinde unterhalten. Im Alter werden auch diese zerrissen und der Zentralzylinder mit seinen nunmehr verdickten innern Innenrindenzellen steckt in der losen Röhre, die von der Aussenrinde gebildet wird.

Bei Molinia coerulea bleiben stets die radialen Verbindungsbrücken erhalten, erscheinen stark verdickt und dienen als Stärkespeicher für die nicht verwendeten Assimilate.

Aber nicht allein die einzelnen Arten der untersuchten Gramineen zeigen ein verschiedenes Verhalten in dem Bau und der Bildung der Wurzel, sondern — und das ist das Merkwürdige — es zeigen die Glieder derselben Spezies-Unterschiede, auf die ich bei

der Einzeldarstellung aufmerksam gemacht habe. Bald ist die Rinde stärker, bald schwächer entwickelt, bald bleibt sie lange erhalten, bald stirbt sie unter fast gleichen Wachstumbedingungen mit mancherlei Modifikationen rasch ab. Neben der Rinde verhält sich auch die Endodermis und das sie umgebende Festigungsgewebe recht verschieden dadurch, dass es bei den einzelnen Repräsentanten bald stark, bald schwach ausgebildet ist. Auch die Weite für die Gefässe und die Verdickung der den Zentralzylinder füllenden Zellen ist bei den einzelnen Pflanzen der gleichen Art sehr variabel. Welche Faktoren massgebend sind für die Ausbildung aller dieser Verschiedenheiten bei den einzelnen Pflanzenvertretern, von welchen Bedingungen das Entstehen der verschiedenen Gestaltungsverhältnissen abhängt — diese Fragen zu entscheiden, wird vielleicht der Morphologie oder Biologie der Zukunft gelingen. Ich begnüge mich zu konstatieren, dass die Behauptung von *Kraus* in den Sitzungsberichten der physikalisch-medizinischen Gesellschaft Würzburg „über spezifische Wurzelstrukturen“ durch meine Arbeit gestützt und bewiesen ist.

Vorstehende Arbeit habe ich auf Anregung des Herrn Professor *Kraus*, Direktor des botanischen Institutes der Universität Würzburg, vom Wintersemester 1904/5 bis zum Wintersemester 1905/6 im botanischen Institut ausgeführt.

Für die mannigfachen Ratschläge, welche mir seitens meines hochverehrten Lehrers zu Teil wurden, für das lebhafte Interesse, das er meiner Arbeit entgegenbrachte, und für die Überlassung des oft mühsam zu beschaffenden Materials sei ihm an dieser Stelle mein ergebenster, herzlichster Dank ausgesprochen.

Lebenslauf.

Ich, *Franz Contzen*, wurde zu Dinslaken, Reg.-Bez. Düsseldorf, am 15. Oktober 1874 als Sohn des Apothekers *Oskar Contzen* und seiner Frau *Therese*, geb. *Nierfeld* geboren. Meine Konfession ist die katholische. Meine Ausbildung erhielt ich auf dem Gymnasium zu Birkenfeld und später auf dem Friedrich Wilhelm-Gymnasium zu Köln, das ich Herbst 1896 mit dem Zeugnis der Reife verliess. Ich wendete mich dem Apothekerberufe zu und verbrachte die üblichen Lehr- und Gehilfenjahre in Köln, Dresden, London, Bern. Herbst 1901 bezog ich die kgl. Friedrich Wilhelms-Universität zu Berlin, wo ich pharmazeutischen Studien oblag; ich besuchte die Vorlesungen bezw. Praktika der folgenden Herrn Professoren bezw. Dozenten: *A. Engler*, *E. Fischer*, *Garcke*, *Gilg*, *Schumann*, *Thoms*, *E. Warburg*.

Im Sommersemester 1903 erhielt ich die Approbation als Apotheker und wandte mich nun vorwiegend botanischen Studien zu und zwar während des Wintersemesters 1903/4 und des Sommersemesters 1904 in Tübingen bei den Professoren bezw. Dozenten: *Fitting*, *Paschen*, *v. Vöchting* und dann in Würzburg vom Wintersemester 1904 an bei Herrn Professor *Kraus*: gleichzeitig hörte ich hier die Vorlesungen der Herrn Professoren: *Beckenkamp* und *Wien*.

Allen meinen Lehrern, insbesondere Herrn Professor *Kraus*, dessen Assistent ich drei Semester sein durfte, fühle ich mich durch die wohlwollende Förderung meiner Studien zu grossem Danke verpflichtet.